



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY

INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

ZVÝŠENÍ EFEKTIVITY MONTÁŽNÍHO PRACOVISTĚ

EFFICIENCY INCREASING OF ASSEMBLY CELL

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Radim Dvořák

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Radek Knoflíček, Dr.

BRNO 2017

Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Student: **Bc. Radim Dvořák**
Studijní program: Strojní inženýrství
Studijní obor: Výrobní stroje, systémy a roboty
Vedoucí práce: **doc. Ing. Radek Knoflíček, Dr.**
Akademický rok: 2016/17

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Zvýšení efektivity montážního pracoviště

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Záměrem diplomové práce je navrhnout nejméně dvě investiční řešení, které povedou ke zvýšení efektivity montážního pracoviště o min. 20%, při rentabilitě do 3 let. Zadání DP je řešeno ve spolupráci se společností IMI Precision Engineering, s. r. o. Brno.

Cíle diplomové práce:

1. Popis a využití základních metod LEAN:

- a) 5S
- b) MOST
- c) Balance chart
- d) SMED

2. Rozbor znění normy EURO 6 s návazností na:

- a) EGR systém
- b) Exhaust brake
- c) SCR systém

3. Rozbor stavu aktuálního výrobního pracoviště z hlediska:

- a) Balance chart
- b) MOST studie
- c) Určení úzkých míst
- d) Návrhy na zvýšení efektivity
- e) SMED studie – změna výroby

4. Návrhy nového konstrukčních řešení:

- a) 3D Modely
- b) Výrobní výkresy
- c) Seznam komponentů, dodavatelů, náklady na pořízení (nacenění), dodací lhůty
- d) Etapy realizace řešení

5. Ekonomické zhodnocení návrhů nového řešení:

- a) ROI (return of investment)
- b) Grafické zobrazení

6. Závěr a kritické zhodnocení vybraného návrhu z provozního a technicko–ekonomického hlediska

Seznam doporučené literatury:

KOLÍBAL, Zdeněk. Roboty a robotizované výrobní technologie. První vydání. Brno: Vysoké učení technické v Brně - nakladatelství VUTUM, 2016. ISBN 978-80-214-4828-5.

ZELENKA, Antonín, Luděk VOLF a Antonie POSKOČILOVÁ. Projektování výrobních systémů: návody na cvičení. Vyd. 1. V Praze: České vysoké učení technické, 2009. ISBN 978-80-01-04394-3.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá zvýšením efektivity montážního pracoviště (výrobní linky). Postupně pojednává o štíhlé výrobě, jejich základních metodách a emisní normě EURO VI, která úzce souvisí s produkováním výrobkem. V hlavní části je poté proveden rozbor současného stavu za pomoci výše uvedených metod a návrh řešení pro zajištění kýžené efektivity. Na základě těchto poznatků je následně navržena automatizace testovací stanice, a to včetně 3D modelu, výkresové dokumentace, etap realizace i reálné cenové kalkulace se závěrečným posouzením efektivity, návratnosti i analýzy rizik. Druhá zpracovaná doplňující varianta se posléze zabývá úpravou ergonomie výrobní linky a obsahuje 3D model nově navržených stolů, reálnou kalkulaci i závěrečné ekonomické zhodnocení.

ABSTRACT

This diploma thesis deals with increasing the efficiency of the assembly workplace (production line). Thesis gradually discusses with lean production, their basic methods and the EURO VI emission standard, which is closely related to the produced product. In the main part, an analysis of the current state is performed with the help of the above-mentioned methods and a proposal of solutions to ensure efficiency. On the base of these findings, the automation of the test station is proposed, including a 3D model, drawing documentation, phases of implementation and real cost calculations with a final assessment of efficiency, return of investments and risk analysis. The second elaborated complementary variant deals with the ergonomics of the production line and includes a 3D model of newly designed tables, real calculations and final economic evaluation.

KLÍČOVÁ SLOVA

metody štíhlé výroby, emisní norma EURO 6, konstrukce jednoúčelového stroje, automatizace pracoviště, optimalizace výrobní linky

KEYWORDS

lean production methods, emission standard EURO 6, construction design of single-purpose machine, workplace automation, optimization of assembly cell

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

DVOŘÁK, R. *Zvýšení efektivity montážního pracoviště*, Brno, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. 2017, 121 s., Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Radek Knoflíček, Dr.

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych velmi rád poděkoval mému vedoucímu panu doc. Ing. Radku Knoflíčkovi, Dr. za cenné rady, připomínky, a hlavně trpělivost při prvních fázích vzniku této diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat zejména panu Ing. Dušanovi Muzikantovi za poskytnutou příležitost, sestavení zadání, a především předané praktické zkušenosti, které mi velmi pomohly při vypracování. V neposlední řadě patří díky také všem spolupracovníkům z IMI Precision Engineering, jenž přispěli svou radou, postřehem či pozitivní kritikou. A nakonec mé rodině, přítelkyni a mému blízkému okolí za trpělivost a podporu během celého studia.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením doc. Ing. Radka Knoflíčka, Dr. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 25.5.2017

.....

Bc. Radim Dvořák

OBSAH

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | ÚVOD | 15 |
| 2 | MOTIVACE..... | 17 |
| 3 | PŘEDSTAVENÍ IMI PRECISION ENGINEERING | 19 |
| 4 | POPIS ZÁKLADNÍCH LEAN METOD | 21 |
| 4.1 | Metodika 5S | 22 |
| 4.2 | MOST | 24 |
| 4.2.1 | Obecné přemístění | 25 |
| 4.2.2 | Řízené přemístění | 25 |
| 4.2.3 | Použití nástroje | 26 |
| 4.2.4 | Ruční jeřáb..... | 26 |
| 4.3 | Balance chart..... | 27 |
| 4.4 | SMED | 29 |
| 4.5 | Ergonomie..... | 32 |
| 5 | SEZNÁMENÍ S NORMOU EURO VI..... | 35 |
| 5.1 | SCR Systém | 37 |
| 5.2 | EGR Systém..... | 39 |
| 5.3 | Exhaust brake..... | 41 |
| 6 | ROZBOR AKTUÁLNÍHO PRACOVISTĚ..... | 43 |
| 6.1 | Layout a popis výrobní linky | 45 |
| 6.1.1 | Popis montážních kroků | 47 |
| 6.2 | Aktuální normy pro operátory | 50 |
| 6.3 | Grafické zobrazení současného stavu | 53 |
| 6.3.1 | Spaghetti diagram | 53 |
| 6.3.2 | Balance chart | 55 |
| 6.4 | MOST studie..... | 56 |
| 6.5 | SMED studie – změna výroby | 57 |
| 6.5.1 | Doporučení ke zlepšení | 58 |
| 6.6 | Určení problémů a úzkých míst..... | 59 |
| 6.7 | Návrhy na zvýšení efektivity | 61 |
| 6.7.1 | Automatizace montážních kroků na testovací stanici č. 2..... | 62 |
| 6.7.2 | Změna ergonomie výrobní linky | 62 |
| 7 | AUTOMATIZACE TESTOVACÍ STANICE Č. 2 | 63 |
| 7.1 | Připojení ventilového bloku..... | 66 |
| 7.1.1 | Upínání ventilového bloku | 66 |
| 7.1.2 | Kontrola pneumatických lineárních pohonů..... | 68 |
| 7.1.3 | Připojení testovacího okruhu | 69 |
| 7.1.4 | Návrh lineárního vedení | 70 |
| 7.1.5 | MKP analýza upínací desky | 73 |
| 7.2 | Nastavování ovládacích prvků..... | 75 |
| 7.2.1 | Rotační pohon..... | 76 |
| 7.2.2 | Návrh pneumatického lineárního pohonu..... | 77 |
| 7.2.3 | Návrh lineárního vedení | 78 |
| 7.2.4 | MKP analýza kritického prvku..... | 81 |
| 7.3 | Lepení (aretace) ovládacích prvků..... | 83 |

| | | |
|-----------|---|------------|
| 7.3.1 | Dávkování lepidla | 84 |
| 7.3.2 | Návrh pneumatického lineárního pohonu | 85 |
| 7.3.3 | Návrh lineárního vedení | 86 |
| 7.3.4 | MKP analýza kritického prvku | 88 |
| 7.4 | Umístění automatizovaných uzlů a krytování | 90 |
| 7.5 | Seznam dodavatelů a náklady na pořízení..... | 91 |
| 7.6 | Etapy realizace..... | 92 |
| 8 | ÚPRAVA ERGONOMIE VÝROBNÍ LINKY | 95 |
| 8.1 | Stůl č. 1 | 97 |
| 8.2 | Stůl č. 2 | 98 |
| 8.3 | Stůl č. 3 | 99 |
| 8.4 | Seznam dodavatelů a náklady na pořízení..... | 100 |
| 9 | TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ..... | 101 |
| 9.1 | Navýšení efektivity..... | 101 |
| 9.1.1 | Automatizace testovací stanici č. 2 | 101 |
| 9.1.2 | Kombinace automatizace stanice a úpravy ergonomie | 105 |
| 9.2 | ROI (Return On Investment) | 106 |
| 9.2.1 | Automatizace testovací stanici č. 2 | 106 |
| 9.2.2 | Kombinace automatizace stanice a úpravy ergonomie | 108 |
| 10 | ZÁVĚR..... | 109 |
| | SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ | 111 |
| | SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ | 115 |
| | SEZNAM OBRÁZKŮ, TABULEK..... | 117 |
| | Seznam obrázků..... | 117 |
| | Seznam tabulek | 119 |
| | SEZNAM PŘÍLOH..... | 121 |

1 ÚVOD

V současné době, kdy je společnost postavena téměř výhradně na materiálních hodnotách, se neustálé zvyšování požadavků na kvalitu, efektivitu a vývoj výrobků stalo takřka denním chlebem. Tuto skutečnost reflektují především výrobní sektory, které jsou stále více nuceny přistupovat k potřebným opatřením. Ten, kdo se nevyvíjí, nezlepšuje, nemá v dnešní konkurenci šanci na úspěch. To ostatně platí dvakrát tolik ve světě automobilového průmyslu, kde se zlepšování procesů stalo velkým trendem i stěžejním bodem většiny výrobních podniků. Na základě těchto faktů vznikl v automobilové sféře pojem štíhlá výroby (LEAN), který již k tomuto oboru neodmyslitelně patří. Ono totiž udržet se jako dodavatel tohoto průmyslu představuje dodržování přísných kritérií spojených s bezchybnou kvalitou, včasným dodržáním termínů a co nejnižšími náklady. Právě těmito třemi cíli se štíhlá výroba zabývá a snaží se o jejich plnění za pomoci různých metodik neustálého zlepšování i eliminace nežádoucích časů. Seznámení se základními metodami a s jejich následnou aplikací na výrobní linku je tak předmětem první poloviny této práce zabývající se zvýšením efektivity montážního pracoviště.

Samotné zlepšování výrobních procesů za využití štíhlé výroby následně úzce souvisí s prvky automatizace, díky nimž lze dosáhnout nových možností, jak snížit časovou spotřebu pracovních úkonů, úsilí či vydanou energii. Využití pneumatických, senzorických či jiných elektronických zařízení, které automatizace spojuje, poskytuje možnosti k odstranění neefektivních procesů zejména v rámci manuální montáže. Takto automatizovaná pracoviště se dnes vyskytují stále častěji, a to především z výše uvedených důvodů. Jejich nevýhodou však mohou být vyšší pořizovací náklady či delší časové rozmezí pro odladění i údržbu. Na základě těchto vlastností je důležité věnovat zvýšenou pozornost důkladnému rozboru a zvážit všechna pro i proti, která by z případné automatizace plynula a zda by takovéto řešení poskytovalo kýžené výsledky. Konstrukterská činnost spojená s těmito řešeními tak spočívá nejen v nalezení správné úrovně automatizace, volbě vhodných prvků a jejich aplikací za účelem dosažení požadovaného efektu.

Celá závěrečná práce se věnuje právě této činnosti, která zahrnuje i rozbor za využití základních metod štíhlé výroby. Jejím hlavním cílem je navrhnout dvě řešení vedoucí k požadovanému navýšení efektivity s přijatelnou návratností dle zadání. Výstupem druhé části této práce by tedy mělo být kompletně zpracované primární řešení včetně všech příslušných náležitostí daných zadáním, rozšířené o druhý doplňující návrh tak, aby byly podány komplexní informace o možných úpravách aktuálního stavu.

2 MOTIVACE

Hlavní motivací k vypracování této vysokoškolské kvalifikační závěrečné práce bylo odhodlání řešit téma s praktickým zaměřením, které se zabývá reálným problémem z praxe. Jak bylo zmíněno již v zadání, jedná se o závěrečnou práci zpracovávanou ve spolupráci se společností IMI Precision Engineering. Dalším důležitým faktorem byla možnost zapojení se do konstrukčních i jiných procesů probíhajících v praxi, ale také příležitost pro hlubší seznámení s chodem společnosti a možností dalšího zapojení po dokončení navazujícího magisterského studia. S čímž pak přímo souvisí úspěšné absolvování renomované technické univerzity, jenž samo o sobě poskytuje nemalou motivaci pro zpracování této velmi zajímavé tematiky.

Získané informace při řešení vzniklých problémů a vypracovávání práce, mohou poskytnout cenné praktické zkušenosti, týkající se zejména pneumatických, senzorických i elektronických systémů, jenž se ve finále kloubí do významného procesu automatizace. Tyto zkušenosti se poté setkávají s uplatněním v nemalé řadě výrobních podniků implementujících automatizační prvky do výrobního procesu a otevírají tak nové možnosti dalšího karierního růstu.

3 PŘEDSTAVENÍ IMI PRECISION ENGINEERING

Společnost IMI Precision Engineering je jednou ze tří obchodních divizí mezinárodního koncernu IMI plc, jenž byl původně založen roku 1862 Georgem Kynochem jako továrna na střelivo v Birminghamu ve Velké Británii. S cílem poskytovat zákazníkům výjimečnou technickou výhodu se postupně vypracoval na jednu z největších společností zabývajících se strojírenstvím. V současnosti má více než 160 poboček, prodejní síť a servis v 75 zemích po celém světě jako např. USA, Mexiko, Čína, Švýcarsko, Česká republika, kde zaměstnávají přes 12 000 zaměstnanců [6, 9].

V lednu v roce 2015, jako součást závazku k vytvoření prvotřídní světové společnosti, převedla dřívější divize firmy Norgren pod novou oficiální divizi Precision Engineering. Výroba byla rozdělena do pěti nových produktových značek (IMI Norgren, IMI Buchjost, IMI FAS, IMI Herion, IMI Maxseal), které patří mezi přední dodavatele vysoce výkonné pneumatické techniky a systémů pro řízení toku (pohybu) tekutin (Obr. 3.1 a)) [7].

Směr, kterým se tohle odvětví ubírá udal již v roce 1927 Carl Norgren, který vymyslel první maznici pro stlačený vzduch a s tím i celý koncept jednotek na úpravu vzduchu. Jedná se tedy hlavně o řešení pro řízení pohybu vzduchu nebo toku kapalin v nejrůznějších oblastech. Pokrývá znalosti a sektory od průmyslové automatizace, montáže osobních automobilů, komerčních i kolejových vozidel až po chemický, energetický, textilní nebo potravinářský průmysl. V současnosti má přibližně 6000 zaměstnanců a je rozložena do 22 dvou výrobních míst po celém světě, včetně pobočky IMI Norgren v České republice [7, 8].

Obchodní i logistická část sídlí v Žamberku, zatímco vývoj s výrobou se soustředí v průmyslové zóně CTPark v Modřicích. Provoz zde byl zahájen v roce 2002 a zaměstnává přes 600 pracovníků. Závod patří mezi jedny z největších výrobních center společnosti, čímž se také stal i technickým centrem pro východní Evropu. Mezi koncové zákazníky patří firmy jako Heidelberg, KHS, ZF, Volvo, Scania, Man, Zetor, Iveco a výroba se tedy dělí na automobilní, kde hlavní produkty tvoří pneumatické ventily, případně ventilové bloky určené pro komerční vozidla (Obr. 3.2 b)). Druhou skupinou je výroba pro ostatní průmysl s výrobním programem, kterým jsou pneumatické pohony i ventily, ventilové terminály, tlakové spínače, úpravny a regulátory vzduchu, šroubení, hadice [6, 8].



Obr. 3.1 a) Logo a produktové značky společnosti [7], b) Produkty automobilové divize [7]

4 POPIS ZÁKLADNÍCH LEAN METOD

LEAN¹ nesporně patří k progresivním trendům podniků 21. století. Technologie i koncept štíhlé výroby má své kořeny neodmyslitelně spojené s japonskou automobilkou Toyota, kde se začátkem druhé poloviny 20. století začal formovat jako TPS². Utvářel se jako alternativa k tehdejší, v USA hojně využívané, hromadné výrobě. Hlavní myšlenkou byla snaha o odstranění plýtvání. Později našla tato technologie své uplatnění na montáží lince Henryho Forda, kde začala se označovat jako „štíhlá“ [5, 10].

V současné době se štíhlá výroba obecně považuje za podnikovou filozofii, či způsob myšlení. Zabývá se zlepšováním procesů a současně usiluje o eliminaci všech sedmi druhů plýtvání (Obr. 4.1), případně zkrácení časů (zákazník–dodavatel) v celém dodavatelském řetězci. Jedná se především o možnost se systematicky zbavovat všech nečinností i ztrát, které nepřidávají hodnotu pro zákazníka, ale pouze zvyšují náklady. Pojem „štíhlá výroba“ tedy není štíhlá ve smyslu zbavování se určitých činností, jak napovídá název, ale jde hlavně o maximalizaci přidané hodnoty produktu, a nejen o samoúčelnou redukci nákladů [3, 10].

Koncept spočívá ve výrobě pružně reagující na poptávku i požadavky zákazníků. Probíhá při malém počtu na sebe navazujících výrobních stupňů se současným úsilím o decentralizované řízení, které funguje za pomoci menších pracovních týmů, z nichž má každý svůj úkol. Všichni zaměstnanci tak mají odpovědnost za průběh i kvalitu výroby a jejich zapojení do neustálého procesu zlepšování vede nejen k případnému zvýšení kvalifikace, rozvoji, ale také ke zlepšení celého podniku [2, 3].

Zeštíhlování se dá chápat jako cesta k nižším nákladům, efektivnějšímu využití ploch, výrobních zdrojů a standardizaci procesů za současného navýšení výrobních kapacit. V rámci celé firemní strategie má následně vliv na posílení konkurenceschopnosti, stability firmy a plnění strategických cílů [6, 10]. K dosažení těchto předem stanovených cílů využívá soubor různých nástrojů, či metod, z nichž je několik základních popsáno v následujících podkapitolách.



Obr. 4.1 Sedm druhů plýtvání [11]

¹ LEAN (lean production) = štíhlý (štíhlá výroba).

² Toyota Production System = výrobní systém Toyota.

4.1 Metodika 5S

Metoda 5S³ má za cíl vytvořit i udržet lepší organizaci na výrobních pracovištích. Tento systém vytváří bezpečné, uspořádané a čisté pracovní prostředí (Obr. 4.3). Takové prostředí každodenně snižuje čas potřebný pro činnosti bez přidané hodnoty, čímž dopomáhá k dosažení lepší produktivity. Stěžejním bodem je umožnit lidem rozpoznat neefektivní procesy i jejich příčiny během každodenní práce a změnit postoj zaměstnanců k pracovištím, strojům a k tomu, co dělají [5, 6, 12].

Princip spočívá v odstranění plýtvání, které bývá způsobeno pracovištěm, které není ergonomicky navrženo. Nejedná se však o úklid, ale spíše o řešení, jak navrhnout pracoviště co nejúčelněji, aby bylo zabráněno vzniku případných neshod a ztrátám orientace na pracovišti hledáním pracovních pomůcek. Zavedením lze získat větší přehled o průběhu procesů spolu s komplexním zabezpečením pořádku a organizace na pracovišti [3, 5].

Název metody vznikl z počátečních písmen japonských slov. Brzy byl také vytvořen nyní používanější anglický ekvivalent (Obr. 4.2), který stejně jako v japonštině zároveň představuje jednotlivé nástroje a kroky pro implementaci [3, 5].

Jak vyplývá již z názvu i obrázku na konci strany, metoda má 5 kroků. U anglického ekvivalentu uveden také český překlad spolu s japonským originálem v závorce.

1S – Sort (Seiri) – Vytríd'

Prvním krokem metody je jasné rozlišení potřebných i nepotřebných předmětů v rámci daného pracoviště nebo oblasti. Nepotřebné vybavení, předměty, pomůcky apod. jsou z oblasti odstraněny s cílem zachovat pouze věci potřebné. Určení stupně potřeby jednotlivých předmětů zde hraje zásadní roli a přesné stanovení rozhodovacích kritérií závisí na konkrétní situaci. Takto vytržené věci již dále nepřekážejí nebo neztěžují práci a mají na pracovišti svá určená místa [10, 12].



Obr. 4.2 Anglický ekvivalent japonských kroků [13]
(sort – vytríd', set in order – srovnej, shine – vyčisti,
standardize – standardizuj, sustain – udržuj)

³ 5S (steps) = 5 kroků využívaných metodou.

2S – Set in order (Seiton) – Srovnej

Srovnání vytřízených předmětů z předchozího kroku, které zabezpečí snadnou dostupnost v potřebném množství. Zpravidla jde o umístění dle četnosti jejich užívání. Nejčastěji používané předměty se umísťují co nejbližší a méně používané naopak dále od pracoviště. Nutno brát v úvahu také ergonomii, váhu, bezpečnost, velikost, množství apod. Takto umístěné předměty jsou nadále bezpečně uloženy na svých místech a označeny (včetně množství je-li to nezbytné) [10, 12].

3S – Shine (Seiso) – Vyčisti

Třetí krok zahrnuje úklidové aktivity, jenž mají za cíl odstranění prachu, špíny, případně dalších cizích předmětů z dané oblasti. Aktuálně nepotřebné předměty by neměly být mimo místa určená k uchovávání. Nejde tedy jen o samoúčelný úklid, ale také o účinnou formu kontroly pracoviště. Čistota také plní svůj účel i z hlediska bezpečnosti práce, hygieny a péče o životní prostředí [6, 10].

4S – Standartize (Seiketsu) – Standardizuj

Čtvrté „S“ vyjadřuje plnou implementaci všech tří předchozích kroků a jejich standardizaci. Udržování vytřízeného, srovnaného i čistého pracoviště přechází v normu, čímž se stávají veškeré abnormality viditelnějšími. Pro maximální vizualizaci je využíváno barevného značení a číselných kódů pro značení prostoru i nástrojů. Takto navržené pracoviště by mělo být odsouhlaseno pracovníky, kteří v dané oblasti pracují [10, 12].

5S – Sustain (Shitsuke) – Udržuj

Posledním krokem v rámci celé metody je nutnost dodržovat všechna předchozí pravidla a normy vztažené k uspořádání pracovišť. V rámci udržitelnosti organizovaného pracoviště se doporučuje provádět pravidelné periodické kontroly pracovišť nezávislými hodnotiteli, které by měly vyústit do konkrétních doporučení a návrhů na zlepšení [6, 10].

Metoda by měla zjednodušit každodenní činnosti a zapojit každého do tvorby standardů, pravidel i procesů na pracovišti, které mohou všichni jednoduše dodržovat. Dosažení uvedeného cíle taktéž vyžaduje zapojení všech účastníků výrobní jednotky a dodržováním, či neustálým zlepšováním principů 5S lze dosáhnout produktivnějšího i efektivnějšího pracovního prostředí [3, 6].



Obr. 4.3 Příklad 5S na pracovišti [6]

4.2 MOST

Metoda MOST⁴ zajišťuje nepřímé měření spotřeby času pracovních činností a je jednou z nejrozšířenějších i nejznámějších systému předem definovaných časů. Patří mezi metody, jenž mají za cíl identifikovat a odstranit plýtvání, zlepšit efektivnost použití zdrojů spolu s možností nadefinovat normy času pro jednotlivé činnosti. Systém vznikl po dvaceti letech vývoje v roce 1990 v americké firmě Maynard and Company, Inc., po níž také nese metoda svůj název. V současné době nachází uplatnění v mnoha výrobních činnostech [6, 14, 15].

Systém je zaměřený na pohyb objektů a jeho koncepce vychází z fyzikálního principu mechanické práce. Ta se definuje jako vydání určité energie za účelem splnění určitého úkolu ($W = F \times s$), čili pohyb tělesa o určité dráze za působení síly. Využívá skutečnosti, že lidskou práci lze popsat za pomoci čtyř univerzálních sekvenčních modelů aktivit, namísto detailních rozkladů na elementární pohyby lidského těla – dociluje se vysoké rychlosti rozboru. Tyto sekvenční aktivity jsou spolu s pohyby (parametry) v nich uvedenými popsány v následujících podkapitolách [15, 17].

Dle délky trvání práce (analyzované činnosti) a přesnosti, které chceme dosáhnout, rozlišujeme mezi třemi základními variantami:

- Mini MOST (činnosti trvající 2–10 s s četností více než 1500x týdně),
- Basic MOST (činnosti trvající 10 s–10 min s četností 150–1500 týdně),
- Maxi MOST (činnosti trvající 2 min a více s četností méně než 150x týdně) [16, 17].

Délky činností uvedené v závorkách slouží jako orientační. Při volbě varianty je zapotřebí vše posuzovat citlivě a s ohledem na charakter vykonávané činnosti. Pro stanovení časů v administrativních činnostech se v současné době vyskytuje ještě varianta čtvrtá, obdoba Basic MOST – Admin MOST [16, 17].

V rámci všech variant se nejčastěji používanou stala metoda Basic MOST, která je považována za všeobecně použitelnou. Díky svému časovému rozpětí zahrnuje většinu činností a bude nadále využita i v této práci. V principu přiřazuje metoda k jednotlivým parametrům sekvenčních modelů předem definované indexy, které jsou rovny jedné desetině TMU⁵, což je speciální časová jednotka, se kterou metoda pracuje [6, 16]. Tato speciální jednotka byla vytvořena v důsledku velmi malých časových hodnot pohybů, které prakticky nelze měřit běžnými časovými jednotkami. Po analýze – stanovení sekvenčního modelu, spolu s příslušnými indexy, lze tyto indexy sečíst, vynásobit číslem 10 a stanovit výsledný čas operace. Čas v těchto jednotkách je možno dále přepočítat na jednotky klasické dle následujícího vztahu – $1\text{TMU} = 1/100000 \text{ hodiny} = 0,036 \text{ sekund}$, což ve většině případů obstarávána speciálně vytvořené formuláře pro tuto činnost (Obr. 4.4) [14, 15, 18].

Např.

$$A_6 B_3 G_3 A_6 B_0 P_3 A_0 \quad (1)$$

$$(6 + 3 + 3 + 6 + 0 + 3 + 0) \cdot 10 = 21 \cdot 10 = 210 \text{ TMU} \quad (2)$$

$$210 \cdot 0,036 = 7,56 \text{ s} \quad (3)$$

⁴ Maynard Operating Sequences Technique = Maynardova technika operačních sekvencí.

⁵ Time Measurement Units = jednotka měření času.

4.2.1 Obecné přemístění

Sekvenční model obecné přemístění popisuje manuální volný přesun jednoho objektu z daného místa na jiné vzduchem. V případě kontaktu s jiným předmětem během pohybu se nejedná o tento model. Celý proces je možno popsat čtyřmi základními parametry (pohyby):

- A (akce na určitou vzdálenost),
- B (pohyb těla),
- G (získání kontroly),
- P (umístění) [15, 17, 18].

V případě potřeby popisu celého obecného přemístění, bude model složen z těchto parametrů v logickém uspořádání dle vykonávaného procesu. Lze s ním popsat přibližně 50 % veškeré manuální činnosti a jednotlivé parametry i s číselnými hodnotami jsou uvedeny v příloze č. 1 – Data karty Basic MOST a následujícím příkladu [15, 18].

Např. Operátor jde 6 kroků pro součástku, která je umístěna v přepravce na zemi. Vezme ji, navrací se zpět na pracoviště, kde ji s velkým tlakem umístí do sestavy.

$$A_6 B_3 G_1 A_6 B_0 P_6 A_0 \quad (4)$$

$$(6 + 3 + 1 + 6 + 0 + 6 + 0) \cdot 10 = 22 \cdot 10 = 220 \text{ TMU} \quad (5)$$

$$220 \cdot 0,036 = 7,92 \text{ s} \quad (6)$$

4.2.2 Řízené přemístění

Sekvenční model řízené přemístění popisuje manuální přesun objektu, který je během pohybu připojen k jinému předmětu, setrvává s jiným předmětem v kontaktu (např. povrch desky stolu), případně je při svém přemísťování omezen nejméně v jednom směru. Pro tento způsob přemístění existují 3 parametry (viz Příloha č. 1 Data karty Basic MOST):

- M (řízený přesun),
- X (procesní čas zařízení či strojů),
- I (vyrovnání objektu po přemístění) [15, 17].

Pro přesun k objektu, pohyb těla a získání kontroly se i nadále využívají parametry z modelu obecného přemístění (viz 4.2.1 Obecné přemístění).

Např. Pracovník udělá 4 kroky k lisovacímu stroji, kde současně stlačí 2 tlačítka. Lis v době 6 sekund slisuje předem připravené součásti.

$$A_6 B_0 G_1 M_1 X_{16} I_0 A_0 \quad (7)$$

$$(6 + 0 + 1 + 1 + 16 + 0 + 0) \cdot 10 = 24 \cdot 10 = 240 \text{ TMU} \quad (8)$$

$$240 \cdot 0,036 = 8,64 \text{ s} \quad (9)$$

4.2.3 Použití nástroje

Sekvenční model zahrnuje kombinaci obecného a řízeného přemístění spojeného s použitím nástrojů, případně myšlením. Tento model obsahuje 7 parametrů pracovních činností s nástroji:

- F, L (utažení, eventuálně uvolnění),
- C (dělení),
- S (povrchová úprava),
- M (měření),
- R (zaznamenávání),
- T (myšlení) [15, 17].

Např. Pracovník odštípne nadbytečný drát malé tloušťky. Kleště jsou umístěny na dosah ruky. Po odštípnutí kleště odloží.

$$A_1 B_0 G_1 A_1 B_0 P_1 C_3 A_1 B_0 P_1 A_0 \quad (10)$$

$$(1 + 0 + 1 + 1 + 0 + 1 + 3 + 1 + 0 + 1 + 0) \cdot 10 = 9 \cdot 10 = 90 \text{ TMU} \quad (11)$$

$$90 \cdot 0,036 = 3,24 \text{ s} \quad (12)$$

4.2.4 Ruční jeřáb

Posledním sekvenčním modelem je přemístění pomocí ručního jeřábu, který slouží pro manipulaci s těžkými objekty a existuje pro něj 7 parametrů popsanych příloze č. 1 – Data karty Basic MOST. Z důvodu malé využitelnosti ve výrobních systémech, případně linkách není v některých zdrojích uváděn a vzhledem k charakteru výroby zpracovávané v této práci, nebude dále uváděn příklad. V případě nutnosti popisu přemístění pomocí ručního jeřábu se postupují analogicky stejně jako v předchozích případech [17].

| | | Basic MOST | | | | | | | | | | Příloha č.X | | |
|-----------------------------|------|-------------------|----------|---|---|--------|---|--------|-----|----------|-------|--------------|-------------|-------------|
| | | | | | | | | | | | | Počet listů: | | |
| Výpočet času manuální práce | | | | | | | | | | | | | | |
| Zpracoval: | | | | | | Datum: | | | | Výrobek: | | | | |
| Celková spotřeba času: | | | | | | 0,00 | | 0,00 | | 0 | | 0% | | |
| | | | | | | minut | | sekund | | TMU | | přirážka | | |
| Stanice | Čís. | Popis operace | Sekvence | | | | | | | | Opak. | TMU | Čas op. [s] | Čas st. [s] |
| | 1 | | A | B | G | A | B | P | A | 1 | 0 | 0,00 | | |
| | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | |
| | 2 | A | B | G | M | X | I | A | 1 | 0 | 0,00 | | | |
| | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | |
| 3 | A | B | G | M | X | I | A | 1 | 0 | 0,00 | | | | |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | | | | |
| 4 | A | B | G | A | B | P | A | 1 | 110 | 3,96 | | | | |
| 1 | 0 | 3 | 1 | 0 | 6 | 0 | | | | | | | | |

Obr. 4.4 Příklad Basic MOST formuláře

4.3 Balance chart

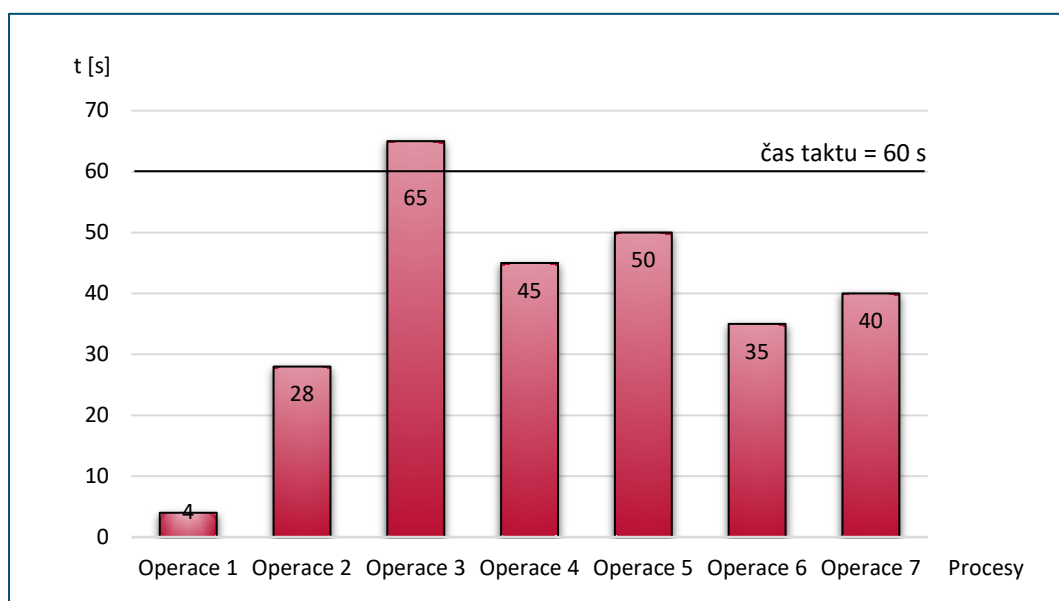
Balance chart⁶ je grafický nástroj, který napomáhá vytvářet kontinuální tok ve vícestupňovém procesu za pomoci přerozdělování pracovních elementů. Nejčastěji se využívá při návrhu, popřípadě optimalizaci výrobních linek ve smyslu optimálního rozložení činností (vyrovnání zátěže – balancování) mezi všemi procesy, jednotlivými pracovišti nebo operátory [19, 20].

Balance chart (Obr. 4.5) využívá svislé sloupce, které představují celkové množství práce jednotlivých procesů. Výška sloupce tedy představuje úměrné množství času potřebného na vykonání procesů, které je porovnáváno s časem taktu [20]. Ten představuje rychlost potřebnou pro výrobu daného výrobku i jeho příslušenství (interval mezi výstupy dvou po sobě jdoucích produktů). Takt bývá určován za účelem synchronizace kroku výroby s krokem prodeje a současně taktéž udává hodnotu maximální délky jednotlivých procesů dle vzorce (13). Základním vstupním parametrem pro následné balancování linek je tedy znalost požadavků zákazníka, která se vyjadřuje množstvím kusů za konkrétní čas [19, 22].

$$\text{čas taktu} = \frac{\text{čas dostupný za pracovní směnu}}{\text{požadavek zákazníka na směnu}} \quad (13)$$

Celá problematika spočívá v rozložení operací do jednotlivých pracovních procesů, které jsou technologicky zvládnutelné a vyžadují stejnou časovou náročnost. Tyto procesy se dále rozdělují mezi výrobní stanice umístěné na lince, případně operátory za účelem zajištění kontinuálního, plynulého toku výrobku danou linkou. Tímto postupem je docíleno eliminace časových prodlev na jednotlivých pracovních stanicích za současně co nejvyššího stupně využití strojů a operátorů. Počet operátorů lze dále vypočítat dle vztahu (14) a dosáhnout efektivnějšího balancování z hlediska stanovení počtu operátorů [19, 22].

$$\text{počet operátorů} = \frac{\text{celkový čas práce na operacích}}{\text{čas taktu}} \quad (14)$$



Obr. 4.5 Balance chart – příklad před balancováním [19]

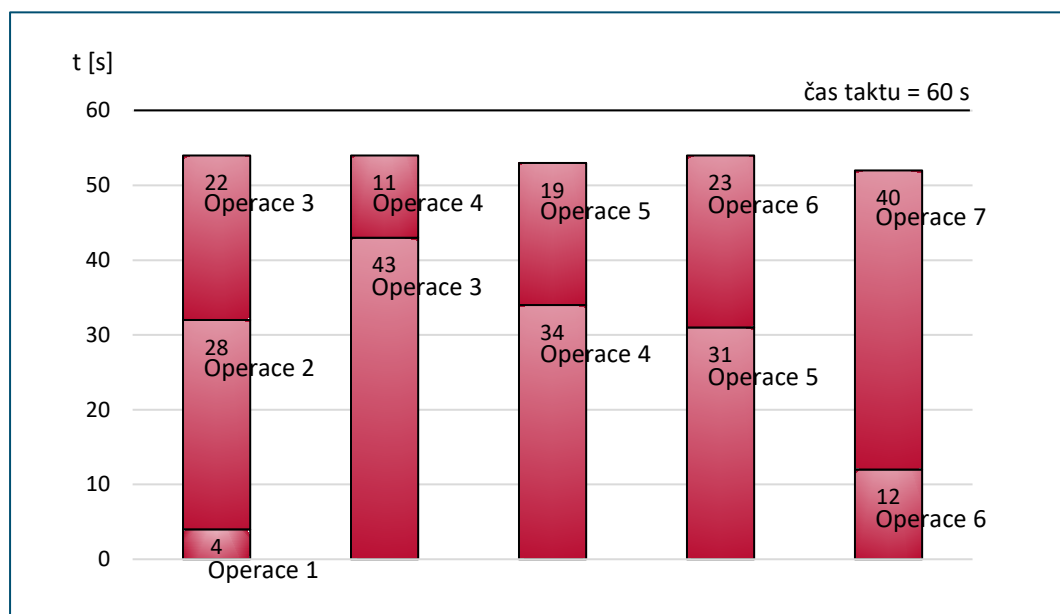
⁶ Balance chart = balanční graf.

Většina úzkých míst, nadbytečných kapacit nebo časových prodlev jsou při analýze již většinou dobře známy, avšak díky této metodě lze tyto nežádoucí prvky kvantifikovat a následně stanovit cíle i priority pro zlepšení [21].

Balance chart na předchozí straně ukazuje výrobu, která by dle aktuálního rozložení činností představovala potenciální zdroj ztrát. V případě procesů vyskytujících se hluboko pod úrovni času taktu, bude s nejvyšší pravděpodobností docházet ke spoustě čekání. Takto vzniklé nadbytečné kapacity však mohou být v rámci optimalizace naplněny tím, že absorbují některé operace z procesů ostatních. Příkladem může být operace 1 s malým časem cyklu. V případě, že by tato operace představovala například založení materiálu do linky, dala by se realizovat jako automatické zakládání v procesu spolu s další operací. Naopak procesy trvající déle než čas taktu, budou s největší pravděpodobností způsobovat zpoždění dodávek a mít negativní vliv na náklady [21].

Za použití principů štíhlé výroby, případně přerozdělením některých operací lze dosáhnout výrazně lepšího rozdělení, vyrovnat jednotlivé procesy a dosáhnout kontinuálního toku produktu výrobní linkou [21]. Optimalizované rozložení činností předchozího příkladu zobrazuje balance chart na obrázku 4.6.

Před samotným balancováním je zapotřebí mít dostatečnou znalost daného výrobního procesu, protože v rámci přeskupování jednotlivých částí se musí brát v potaz a respektovat technologické postupy. Jednotlivé činnosti prováděné pracovníky musí odpovídat danému výrobnímu postupu a dle něj na sebe navazovat [22].



Obr. 4.6 Balance chart – příklad po balancování [19]

4.4 SMED

Metoda SMED⁷ je další z mnoha metodik štlhlé výroby a stejně tak jako ostatní se zabývá snižováním plýtvání ve výrobním procesu. Jedná se o systematický proces pro přestavení strojního zařízení z jednoho typu výrobku na druhý. Jak již napovídá sám název, cílem metody je zkrácení přestavovacího času pod 10 minut na jednociferné číslo (single minute). Rychlé vykonávání těchto změn hraje velmi důležitou roli z hlediska zvýšení flexibility a zlevnění výroby [23, 24].

Metodika rychlého přestavení má obvykle dva základní cíle:

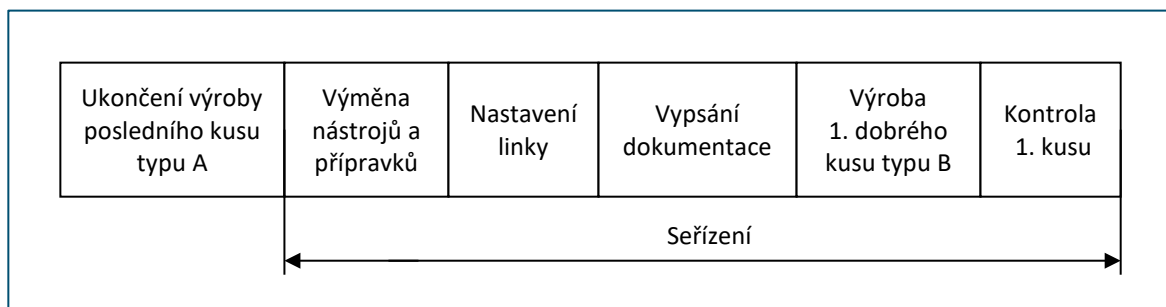
- Zajištění rychlého přestavení mezi dvěma typy výrobků. To dále umožňuje výrobu v malých dávkách, čímž se dosáhne vyšší pružnosti, nižší rozpracovanosti a kratší průběžné doby ve výrobě [24].
- Získání části strojní kapacity, která je využívána dlouhým přestavováním. V případě, kdy je strojní zařízení úzkým místem, se stává cíl zvláště důležitým [24].

Celý postup metody vychází z prvotní důkladné analýzy seřízení, která je většinou vykonávána pozorováním přímo na pracovišti. Na základě této analýzy se postupnou změnou dosahuje radikálního zkracování časů z hodin na minuty. Tyto změny zahrnují zejména organizaci přestavby, standardizaci seřizovacích postupů, tréninky zaměstnanců, technické úpravy stroje a speciální pomůcky [23, 24].

Čas seřizování (přestavení) představuje časový úsek od ukončení výroby posledního kusu po výrobu a schválení prvního dobrého kusu jiného typu. Tento čas zahrnuje všechny potřebné operace přes odstranění starých přípravků, nastavení nových, vypsání dokumentace, případné zkušební běhy až po kontrolu prvního dobrého vyrobeného kusu. V případě, že je první dobrý kus vytvořen bez potřeby nastavení, čas výroby tohoto kusu se počítá již jako operační [24]. Schéma potřebných operací zobrazeno na obrázku 4.7.

Rozložení seřizování strojních zařízení a potřebných operací záleží od typu výroby, ale obecně však lze říct, že platí následující poměry:

- kontrola a příprava nástrojů nebo materiálu (30 % času),
- výměna přípravků, nástrojů a jejich montáž (5 % času),
- vlastní seřízení přístrojů a linky (15 %),
- dokumentace, odzkoušení a případné úpravy (50%) [24].



Obr. 4.7 Schéma přestavení na novou výrobu [6]

⁷ Single Minute Exchange of Die = přestavení strojních zařízení pod 10 minut.

Všeobecně lze konstatovat, že je metoda potřebná všude, kde se seřizování vykonává často, zařízení představuje úzké místo a časový úsek pro seřízení znamená významné ztráty z kapacity linky nebo zařízení [23, 24]. Tyto ztráty (plýtvání) se stejně jako u celého konceptu štíhlé výroby dají rozdělit na 7 skupin:

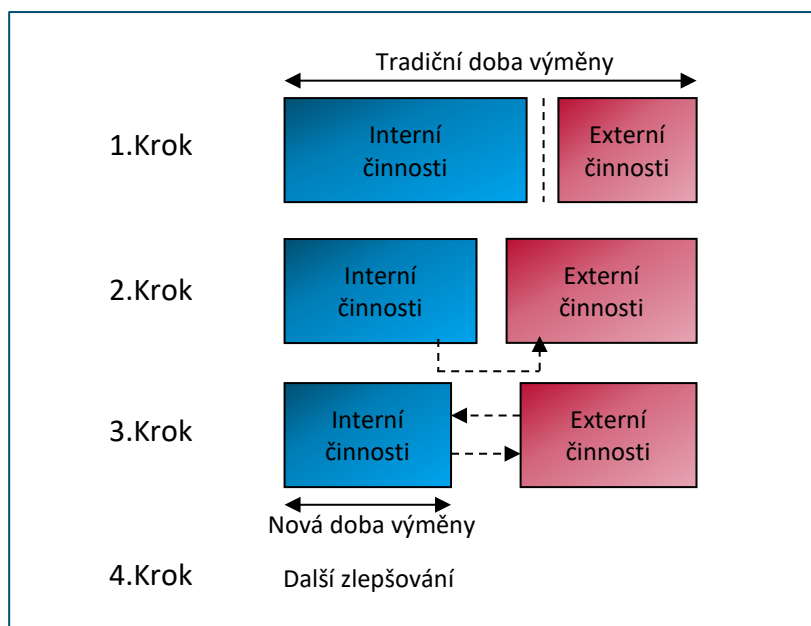
- hledání,
- chůze,
- chybějící standardy,
- nedostatečné plánování,
- čekání,
- chybějící nástroje [25].

Všechny tyto seřizovací operace, ať už ztrátové nebo neztrátové, se dle metody dělí do dvou základních kategorií:

- Interní činnosti – vykonávají se pouze za klidu stroje nebo zařízení (např. vlastní seřizování stroje, změna přípravku) [6, 25].
- Externí činnosti – mohou být vykonávány za chodu stroje (např. doprava do skladu, vychystání výměnných přípravků) [6, 25].

Hlavní cíl spočítá v přesunu co největšího množství interních činností na činnosti externí a v redukci obou těchto oblastí. Cílem přesunu jsou zejména činnosti spojené s plýváním při hledání (přípravků, nástrojů atp.), čekání na zahájení výroby (na materiál, palety atd.), chůzi (pro nástroje, materiál) i nastavování nástrojů. Pro tento přesun, eliminaci a celkovou redukci množství času pro přestavení zařízení využívá metodika následující postup, který zahrnuje čtyři po sobě jdoucí kroky (Obr. 4.8):

- krok č. 1 – analýza interních a externích činností,
- krok č. 2 – oddělení interních a externích činností,
- krok č. 3 – konverze (přesun) interních činností na externí,
- krok č. 4 – zlepšování interních i externích činností [23, 25].



Obr. 4.8 Jednotlivé kroky metodiky SMED [23]

Krok č. 1 – analýza interních a externích činností

První krok zahrnuje rozlišení interních a externích činností. Rozlišení vychází z předem provedené prvotní důkladné analýzy, která bývá prováděna pořízením videonahrávek umožňujících budoucí reference. Z nich se následně provádí zápis jednotlivých činností dle chronologické posloupnosti. Je zapotřebí zajistit, aby všechny činnosti, které mají možnost být prováděny během chodu zařízení, byly během tohoto chodu provedeny. Analýzou těchto činností lze dosáhnout zkrácení interního času seřizování až o 30–50 % [24, 25].

Krok č. 2 – oddělení interních a externích činností

Druhý krok spočívá v redukci spotřeby času za pomoci převedení interních činností na externí. Při řešení tohoto převodu hledáme možnosti, jak uplatnit činnosti vykonávané za klidu zařízení či stroje. Jedná se například o externí předehřev matic, předem vykonávané nastavení rozměrů, kontinuální doplňování materiálu, předmontáž, popřípadě o doplnění pomocného pracovníka. Nutností při tomto kroku je přijetí nových postupů, které se liší a nejsou svazovány stávajícím provozem [23, 24].

Krok č. 3 – konverze (přesun) interních činností na a externí

Třetí krok spočívá hlavně v organizaci pracoviště i koncentraci na jednotlivé operace, jejich důkladnou analýzu a následující zlepšování. V rámci interních činností je důležité se soustředit na rychlejší způsoby upevňování nástrojů – přípravků pomocí redukce počtu šroubů apod. Další body pak představuje zkracování zkušebních dob, eliminace nadbytečných činností a paralelní vykonávání činností. V případně činností externích se jedná zejména o procesy přípravy a transporty [23, 24].

Krok č. 4 – Zlepšování interních i externích činností

Čtvrtý krok představuje drobné zlepšování a trénink všech tří předchozích kroků. Cílem kroku je postupnou činností, zlepšováním a tréninkem operátorů při přestaveních, dosáhnout co nejmenšího, minimálního časového intervalu pro přestavení strojních zařízení [6, 25].

K tomuto cíli dopomáhá vytvoření standardu, jaký představuje například přesný popis výměny či seřízení umístěný na lince, který zahrnuje seznam potřebných věcí (nástroje, přípravky), počet a vizualizaci dané činnosti. Důležitá část souvisí také s určením správné posloupnosti, zvýšením vzájemné spolupráce pracovníků a dopředným plánováním změn výroby s možností zavedení zpětné vazby [6, 25].

Správné zvládnutí všech čtyř kroků a celé metodiky rychlého přestavení výrobních zařízení se následně promítne do několika následcích přínosů:

- nižší průběžná doba,
- vyšší pružnost a zlepšení kvality,
- redukce zásob (snížení ploch),
- vyšší průtok (větší kapacity a méně zdrojů),
- redukce složitosti a vyšší využití jednotlivých zařízení [25].

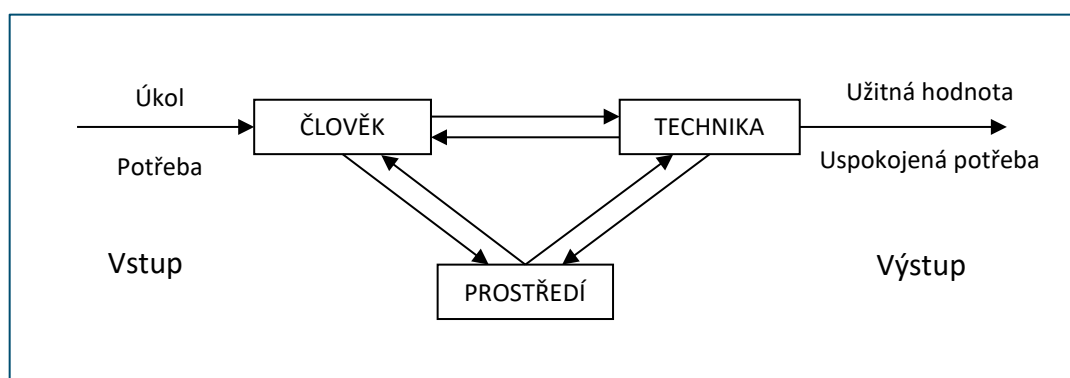
4.5 Ergonomie

Ergonomie⁸ zastává v současných výrobních systémech velmi důležitou roli, a to z hlediska zdraví člověka i produktivity práce. Oficiální definice dle IEA⁹ zní: „Ergonomie je vědecká disciplína, optimalizující interakci mezi člověkem a dalšími prvky systému a využívající teorii, poznatky, principy, data a metody k optimalizaci pohody člověka a výkonnosti systému.“ Zjednodušeně tedy lze říct, že ergonomie je věda, případně obor řešící činnost člověka, jeho vztahy s pracovním prostředím i pracovním vybavením, tedy tzv. systém člověk – technika – prostředí (Obr. 4.9) [26, 27, 30].

Systémově přistupuje k řešení problematiky postavení člověka ve výrobním systému. Celek utvořený z člověka, techniky a prostředí nebere jako samostatnou skladbu, ale vychází z poznatků, že jejich seskupením se vytváří nové vazby se specifickými vlastnostmi. Vzhledem k zaměření práce na výrobní procesy, bude z tohoto trojúhelníku dominantní vazba mezi člověkem a technikou [27, 30].

I když často dochází k odlišné interpretaci ergonomie, základní myšlenka a cíl zůstávají vždy stejné. Jedná se o optimalizaci zmíněných vazeb působících na člověka v daném pracovišti vzhledem k zatížení organismu a za současného zvýšení efektivity vykonávané práce [1, 26, 27]. Při této racionalizaci pracovních podmínek na pracovištích ve výrobních procesech je zapotřebí se zaměřit zejména na:

- pracovní a manipulační prostor (zóny dosahu, přehled apod.),
- účelné uspořádání (rozmístění ovládacích a oznamovacích prvků),
- výšku pracovní roviny,
- zorné podmínky při práci (zorný úhel, osa pohledu apod.),
- ekonomii pracovních pohybů,
- konstrukci nástrojů a přípravků,
- pracovní prostředí (osvětlení apod.) [1, 26].



Obr. 4.9 Systém člověk – technika – prostředí [30]

⁸ Z řeckého ergo = práce a nomos = zákon, pravidlo.

⁹ International Ergonomics Association = Mezinárodní ergonomická asociace.

Všechny tyto aspekty a mnoho dalších by měla konstrukce, případně tým zabývající se analýzou ergonomických uzpůsobení brát v potaz. Právě tyto dvě skupiny mají rozhodující vliv, jestli bude práce s výrobním zařízením nebo na výrobní lince v souladu s tělesnými rozměry pracovníků. Zda bylo počítáno s fyziologickými hledisky a pracovními polohami nebo zda byla usnadněna práce obsluhy za pomoci skloněných rovin, válečkových systémů či skluzů [31].

Každé pracoviště má však své specifikace, a stejně tak i ergonomická rizika. V případě, že se technologické pracoviště stává zdrojem škodlivin nebo jiného nebezpečí, musí být zváženy možnosti snížení tohoto rizika na únosnou míru, případně úplného odstranění. Pro pracoviště s vysokými sériemi s nízkou spotřebou času na kus jsou charakteristická nebezpečí spojená s kumulativními traumatickými těžkostmi¹⁰. Při práci s velkými těžkými výrobky zase spíše zatížení zad. Z dlouhodobějšího hlediska mohou tyto chyby vyvodit závažnější důsledky, a proto je důležitá jejich eliminace [29, 31].

Nejdůležitějšími kritérii pro zhodnocení montážních a výrobních linek využívaných ve společnosti IMI Precision Engineering jsou zejména:

- Rozměry – výšky manipulačních a pracovních rovin, oblasti dosahů hlavně horních končetin a jejich závislost vůči základní poloze (vstoje, vsedě) [31].
- Hlavní a vedlejší pracovní polohy – zda jsou ovládací prvky dobře dosažitelné a oznamovací prvky viditelné ze základní (hlavní) pracovní polohy, případně zda není zapotřebí trvalejších výponů, otáčení těla při manipulaci apod. [29, 31].
- Pracovní pohyby – ekonomie z hlediska produktivity i bezpečnosti (dlouhodobé přetížení, opakované uchopování), minimalizace uchopovacích vzdáleností [29, 31].
- Uspořádání a technická vybavenost – přehledné rozmístění technologických prostředků, odkládací prostory pro pomůcky (držáky, police, skříně), snadný přístupnost z hlediska pracovních pohybů [31].

Všechna tato kritéria by dále měla podléhat normám ČSN ISO 6385 Ergonomické zásady pro navrhování pracovních systémů, ČSN EN 614-1 Ergonomické zásady pro projektování. Terminologie a všeobecné zásady. A zejména pak nařízení vlády č. 361/2007 Sb., kterým se stanovují podmínky ochrany zdraví při práci. Toto nařízení zároveň stanovuje dosahy horních končetin a výšky manipulačních rovin při pracovních činnostech popsané níže [28, 31].

Optimální výška manipulační roviny by měla odpovídat výšce lokte v poloze, kdy nadloktí a předloktí svírá přibližný úhel 90°. Při pracovních činnostech vstoje je určena celkovou tělesnou výškou, při práci vsedě tělesnou výškou nad sedákem. Oblast dosahu vsedě ve svislé rovině je dána lichoběžníkem a závislosti na výšce rovině je regulována i výška sedáku dle rozmezí na obrázku (Obr. 4.10 a)) [28, 31].

Práce vyžadující vyšší nároky na zrakovou činnost zvyšují výšku roviny o cca 10–20 cm nad loket. Naopak při manipulaci s předměty o vyšší hmotnosti vstoje se snižuje o cca 10–20 cm pod loket. V případě různých přípravků, svěráků a podobných pomůcek odpovídá manipulační rovina místu nejčastěji vykonávaných pohybů [28, 31].

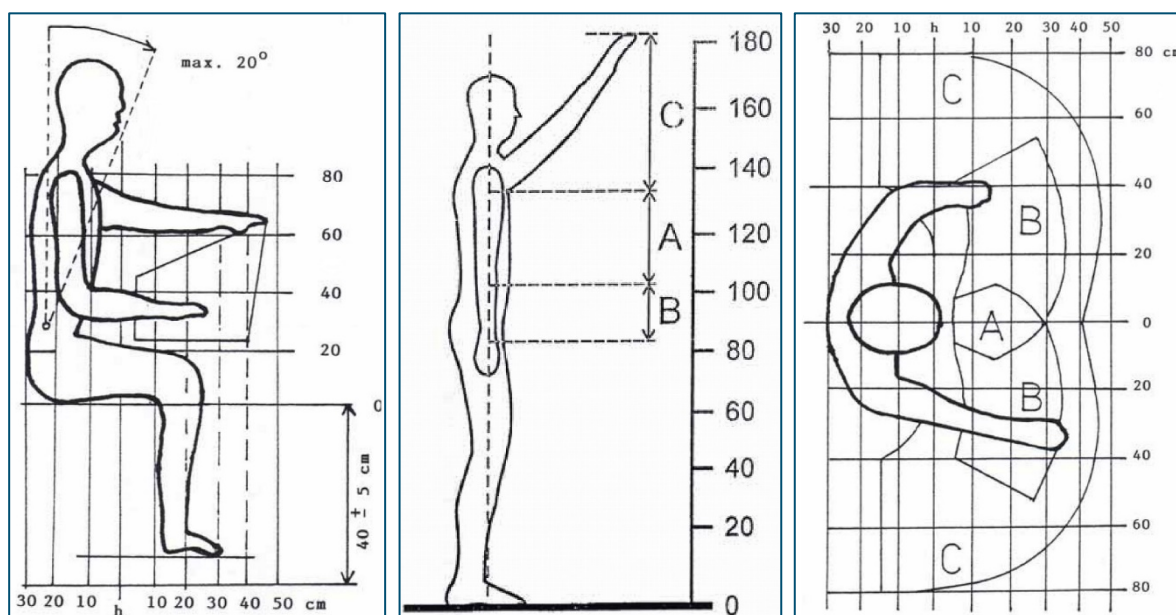
¹⁰ Potíže způsobené opakující se stereotypní prací.

Vysvětlivky k obrázku 4.10 b) Dosahy horních končetin ve svislé rovině vstoje:

- oblast A – optimální dosah,
- oblast B – přijatelný dosah,
- oblast C – nepříjemný pro časté pohyby [28].

V rámci pracovních činností horních končetin ve vodorovné rovině při práci vsedě i vstoje (Obr. 4.10 c)) se dosahy dělí do oblastí, stejně jako tomu je u práce ve svislé rovině:

- oblast A – časté, rychlé a přesné pohyby,
- oblast B – optimální dosah, pohyby obou předloktí bez nutnosti změny základní pracovní polohy (pohyb do stran, mírné předklánění)
- oblast C – maximální dosah, nutnosti otáčení trupu, méně časté a pomalejší pohyby [28, 31].



Obr. 4.10 a) Dosahy horních končetin ve svislé rovině při práci vsedě [28], b) Dosahy horních končetin ve svislé rovině při práci vstoje [28], c) Dosahy horních končetin ve vodorovné poloze při práci vsedě i vstoje [28]

5 SEZNÁMENÍ S NORMOU EURO VI

Emisní normy EURO¹¹ stanovují maximální hodnoty škodlivin výfukových exhalací¹² pro benzínové i naftové motory. Standardy podléhají Evropské unii a v práci jsou zmíněny zejména proto, že systémy snižující výfukové emise úzce souvisí s výrobkem produkovaným na výrobní lince, jejíž zvýšení efektivity je předmětem této práce.

Systém emisních norem funguje na principu vyhlášek, které upravují a dále rozvíjí normu základní, která má stejně jako všechny ostatní svůj základ v kalifornských zákonech. První přijatý předpis zabývající se množstvím výfukových exhalací vznikl v USA v roce 1968, na jejíž základě následně vznikla první emisní norma na evropském kontinentu v roce 1971. První emisní norma EURO se však objevila až v roce 1990 a od té doby vychází pravidelně každé čtyři roky nová. S každou novou generací se snižují limity škodlivých látek, tedy čím větší číslo, tím větší přísnost. Zatím poslední platná aktuální verze EURO VI vešla v platnost v roce 2014 a limitně se rovná aktuální americké EPA 10 z roku 2010 [32, 33].

Jak již bylo řečeno na začátku, normy definují povolené limity škodlivin ve výfukových plynech. Jedná se zejména o oxidy dusíku (NO_x), pevné částice (PM¹³), oxid uhelnatý (CO) a nespálené uhlovodíky (HC). Avšak tyto čtyři látky nejsou jediné, které automobily vypouští do ovzduší [32, 33].

Při dokonalém spalování uhlovodíkových paliv (drtivá většina v současnosti používaných) by vznikl pouze oxid uhličitý (CO₂) a voda (H₂O). Ovšem z technologického hlediska nelze vytvořit pohonné hmoty bez nežádoucích přísad, které částečně podporují vznik škodlivých látek a zapříčiňují nedokonalé hoření [34]. Reálně jsou výfukové plyny tvořeny 66 % N₂, 12 % CO₂, 11 % H₂O, 10 % O₂ a méně než 1 % inertních plynů. Z celkového objemu těchto plynů se za znečišťující škodliviny považují jen předem zmíněné NO_x (0,11 %), CO (0,09 %), HC (0,06 %) a PM (0,05 %). Například oxid uhličitý, v současné době značně zmiňovaná látka z hlediska globálního oteplování, není ve znečišťujících škodlivých výfukových plynech nijak zahrnut a normy se množstvím CO₂ vůbec nezabývají [33, 34].

Povolené emise škodlivin bývají zpravidla uváděny v jednotkách [g/kWh] nebo v [g/km] a jejich hodnoty pro jednotlivé alternativy jsou k vidění v následující tabulce 5.1.

Tab. 5.1 Limity emisních norem [32]

| Norma | Platnost | CO | NO _x | | HC+NO _x | | HC | PM | |
|----------|----------|------|-----------------|------|--------------------|------|------|------|-------|
| [g/km] | | | | | | | | | |
| EURO I | 1992 | 3,16 | 3,16 | — | — | 1,13 | 1,13 | — | 0,18 |
| EURO II | 1996 | 2,20 | 1,00 | — | — | 0,50 | 0,70 | — | 0,08 |
| EURO III | 2000 | 2,30 | 0,64 | 0,15 | 0,50 | — | 0,56 | 0,20 | 0,05 |
| EURO IV | 2005 | 1,00 | 0,50 | 0,08 | 0,25 | — | 0,30 | 0,10 | 0,025 |
| EURO V | 2009 | 1,00 | 0,50 | 0,06 | 0,18 | — | 0,23 | 0,10 | 0,005 |
| EURO VI | 2014 | 1,00 | 0,50 | 0,06 | 0,08 | — | 0,17 | 0,10 | 0,005 |

Benzínové motory, Naftové motory

¹¹ Též ekologické normy, emisní standardy nebo emisní třídy.

¹² Plynné odpadní látky vypouštěné do okolního prostředí.

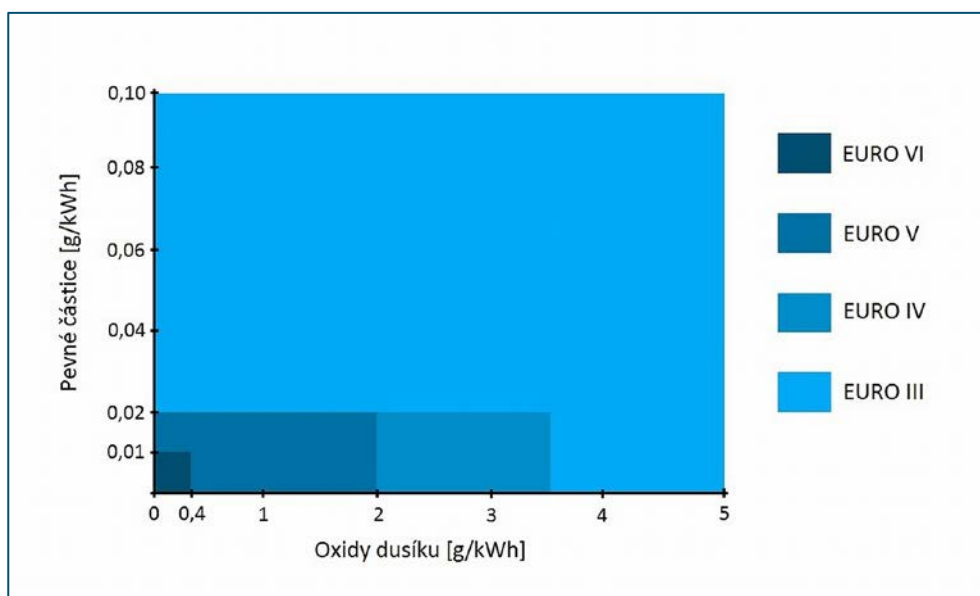
¹³ Particulate Matter = částice sazí, tuhé znečišťující částice.

Jak lze vidět z předchozí tabulky i z grafického zobrazení na konci strany (Obr. 5.1), od roku 1992, kdy vyšla norma EURO I, došlo již ke značné redukci škodlivin. K velkému skoku v limitních hodnotách došlo při zavedení norem EURO II i EURO IV. Porovnáním limitů mezi III a IV lze zjistit, že zavedením došlo dokonce ke zpřísnění o 80 % u PM a 30 % u NO_x. Souhrnně od první až po aktuálně platnou byly povolené limity sníženy o takřka 99 % u pevných částic a o 98 % u oxidu dusíku [32].

Při porovnání aktuální normy EURO VI a předcházející EURO V lze zaregistrovat pokles škodlivin NO_x o 77 % a pokles pevných částic o 66 %. Pro názornost je tento pokles emisí roven poklesu mezi normami EURO I až EURO V. Zavedení nových norem však není jednorázová akce [33]. Výrobci motorových vozidel tak plní emisní standardy vždy ve značném předstihu. Nově zavedená norma se logicky týká vždy nově představených modelů a vozidla vyráběná před vstupem v platnost nemusí tuto normu splňovat. Avšak v rámci značného předstihu nabízely automobilky motory splňující normu EURO VI již roce 2011, tedy s tříletým předstihem [32, 33].

Toto neustálé zpřísnování emisních limitů vede automobilky ke konstrukci nových prvků výfukových systémů. Zatímco pro splňování norem EURO I až EURO III bylo nutné přejít na kvalitnější palivo a zvyšovat efektivitu spalovacího procesu pomocí různých druhů přeplňování i vstřikování. Počínaje normou EURO IV již bylo zapotřebí vybavovat vozidla jedním ze dvou systému zajišťujících dodatečnou úpravu výfukových plynů. Jednalo se o buď o systém selektivní katalytické redukce SCR¹⁴ nebo o systém recirkulace výfukových spalin EGR¹⁵ [32, 33].

Pro splnění limitů daných normou EURO VI se tak v současné době využívá ve většině případů způsob založený na kombinaci těchto dvou systémů EGR a SCR. Případně existuje ještě druhá varianta fungující pouze díky technologii SCR, tedy bez nutnosti současného využití EGR, označovaná jako „SRC-ONLY“ [32].



Obr. 5.1 Snižování objemu částic [32]

¹⁴ Selective Catalytic Reduction = selektivní katalytická redukce.

¹⁵ Exhaust Gas Recirculation, něm. AGR = recirkulace výfukových spalin.

5.1 SCR Systém

Systém SCR slouží k čištění spalín u vznětových motorů. Využívá selektivní katalytické redukce, která snižuje množství oxidů dusíku (NO_x) ve výfukových plynech. Technologie byla patentována roku 1957 a původně vyvinuta jako stacionární provedení ke snížení NO_x pomocí dusíkatých sloučenin. První mobilní systémy SCR pro redukci oxidů dusíku ve výfukových spalínách byly aplikovány v lodních motorech a první využití v komerční automobilní dopravě bylo představeno v roce 2004 v Japonsku [32, 36].

Díky trendu snižování spotřeby paliva pracují motory za vysokých tlaků a teplot s nejnižší možnou dávkou, což má za následek zvýšenou produkci oxidů dusíku. Jak již bylo zmíněno na předchozích stranách, současně se také neustále zpřísňující emisní normy a je zapotřebí hledat stále nové cesty ke snížení obsahu těchto látek. Se stávající normou EURO VI, tak systém SCR představuje jediný způsob, jak vyhovět těmto nastaveným limitům [35, 36].

Princip této technologie spočívá v elektronicky řízeném vstřikování aditiva¹⁶ AdBlue¹⁷ do výfukového potrubí, čímž lze dosáhnout snížení emisí NO_x až o 80 %. Celá technologie funguje na bázi katalytické redukce (popsaná níže), jejíž nejdůležitější součástí je amoniak (NH_3). Přímé používání amoniaku pro tyto účely však nesplňovalo bezpečnostní normy. Z tohoto důvodu bylo vyvinuto aditivum AdBlue, které představuje vodný roztok na bázi umělé močoviny odpovídající normě DIN 70 0070. Jedná se o sloučení syntetické močoviny (32,5 %) a demineralizované vody (67,5 %). Močovina se vyrábí laboratorně, nemá barvu, zápach, není hořlavá a dobře se rozpouští ve vodě [32, 36, 37].

Ať už osobní, či nákladní automobily využívající technologii SCR mají pro AdBlue speciální nádrž označenou modrým víčkem (Obr. 5.2). Cena se na čepacích stanicích pohybuje přibližně kolem 20 Kč/litr a doporučuje se skladovat při teplotách do +25 °C. Výhodou představuje její biologická odbouratelnost v přírodě při únicích do vod nebo půdy. Naopak nevýhodou jsou její korozivní účinky a bod tuhnutí (krystalizace) při -11 °C. Z tohoto důvodu musí nádrž i potrubí pro AdBlue obsahovat elektrický ohřev, kterým je u některých vozidel vybaven i samotný SCR systém (Obr. 5.3) [32, 36, 37].



Obr. 5.2 Nádrž pro AdBlue [35]

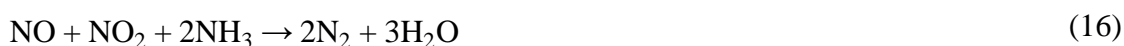
¹⁶ Látky přidávané za účelem úpravy (zlepšení) vlastností.

¹⁷ Obchodní název pro umělou močovinu.

Celý SCR systém se skládá z komponent, které zabezpečují dopravu a vstřikování AdBlue do výfukového potrubí, řídicí jednotky, SCR katalyzátoru a snímačů zjišťujících teplotu i složení plynů před, za i při průchodu spalín tímto systémem [37].

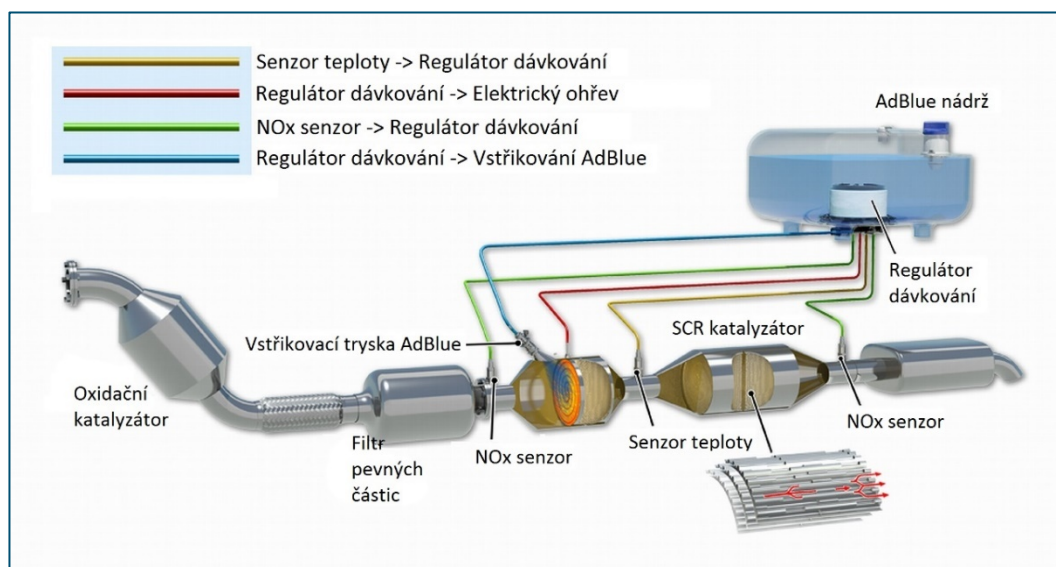
Ze samostatné nádrže, jejíž součástí je napájecí jednotka, regulátor dávkování i čerpadlo, se roztok přepravuje do vstřikovací jednotky. Aditivum se přivádí pod konstantním tlakem do vstřikovacího ventilu, který bývá obvykle dvoupolohový. První poloha umožňuje vstřikování roztoku do potrubí, zatímco druhá slouží pro čerpání přebytečného aditiva zpět. Odčerpávací poloha plní funkci zejména při vypnutí motoru, kdy se odčerpáním zabráňuje možnému zamrznutí směsi. Součástí vstřikovací jednotky je taktéž tryska, která zajišťuje rovnoměrný rozstřík do výfukových plynů. Množství vstřikovaného roztoku se odvíjí od zatížení motoru, teploty i složení plynů a závisí na době otevření ventilu. Celá jednotka se nachází přímo na výfukovém potrubí a bývá umísťována mezi filtr pevných částic a SCR katalyzátor [32, 35, 37].

Vstřikovaný roztok následně prochází ve výfukových spalínách chemickými reakcemi popsány rovnicemi (15) a (16).



Za pomoci horkých spalín se aditivum nejprve rozkládá na oxid uhličitý (CO_2) a amoniak (2NH_3). Následně v SCR katalyzátoru prochází chemickou reakcí, kdy amoniak reaguje s oxidy dusíku (NO_x) vznikajícími při spalování. Výsledkem je dusík (běžně se vyskytující v atmosféře) a voda ve formě vodní páry – vzhledem k panujícím teplotám při reakci, vycházející z výfukového ústrojí. Tyto teploty se pohybují běžně okolo 230°C [32, 38].

SCR katalyzátory existují dvojího druhu. U klasického dochází k reakci pouze u dostatečně zahřátého motoru, zatímco druhá skupina zajišťuje elektrický ohřev spalín i aditiva a dochází ke katalytické redukci ihned (Obr. 5.3).



Obr. 5.3 Proces selektivní katalytické redukce [35]

Před i za katalyzátorem jsou umístěné snímače NO_x , které zjišťují informace o složení výfukových plynů a předávají je řídicí jednotce. Ta na základě těchto podnětů reguluje přesné množství dávkovaného roztoku tak, aby nedocházelo k úniku toxického amoniaku a současně také reguluje teplotu elektrického ohřevu na základě teplotního sensoru (mimo klasické katalyzátory bez ohřevu) [32, 37, 38]

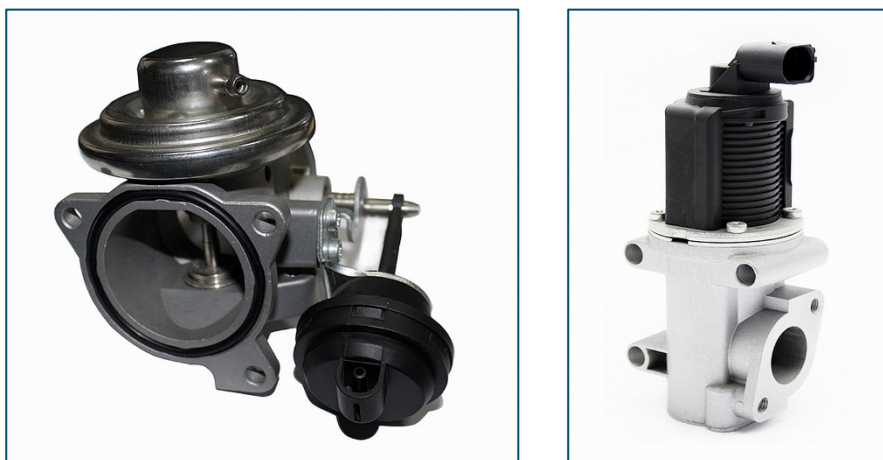
Celý tento proces snižuje škodliviny na téměř nulové hodnoty, aniž by působil ztráty na výkonu motoru, vylepšuje ekonomii využívání pohonných hmot a zároveň představuje optimální i současně jediný způsob, jak vyhovět emisní normě EURO VI.

5.2 EGR Systém

Systém/technologie EGR představoval druhou možnost pro plnění limitů norem EURO IV a V, avšak s aktuálně v pořadí šestou normou je již nutná jeho kombinace s technologií SCR. Samotná historie EGR sahá až do 50. let 20. století, ale jejího využití v komerční automobilové dopravě se datuje o mnoho let později. Konkrétně jde o léta sedmdesátá a automobily se zážehovými motory v Severní Americe [32].

Jak již napovídá anglická zkratka systému, jedná se o metodu spočívající v recirkulaci výfukových spalin – zpětné vedení výfukových spalin k přívodu čerstvého vzduchu do sacího potrubí při přípravě palivové směsi. Technicky jde o nejúčinnější metodu pro redukci hodnot NO_x . Přivedení určité části výfukových exhalací zpět k čerstvě nasávanému vzduchu, který slouží pro přípravu palivové směsi, snižuje koncentraci kyslíku. Ta má výrazný vliv na rychlost hoření a díky zpomalení tohoto procesu se snižuje hraniční hodnota teploty, čímž dochází současně také k redukci NO_x . U naftových motorů se hodnota recirkulace pohybuje v 15–25 %, u benzínových pak přibližně 10–20 % z objemu nasávané směsi. [39, 41].

Prakticky tento systém funguje za pomoci EGR ventilu, který umožňuje řízené propojení výfukového a sacího potrubí. Ventil může být umístěn přímo u komory výfuku (tzv. horká zástavba) nebo může být integrován do modulu sání (tzv. studená zástavba). V případě, kdy je EGR ventil otevřen, přepouští se díky podtlaku v sání určité množství výfukových plynů, které se dále mísí s nově příchozím vzduchem. Ventily se vyrábí ve dvou provedeních – pneumatický, elektromagnetický. Využívány jsou jak v benzínových, tak v naftových motorech a jejich zástupce lze vidět níže (Obr. 5.4 a) i b)) [39, 41].



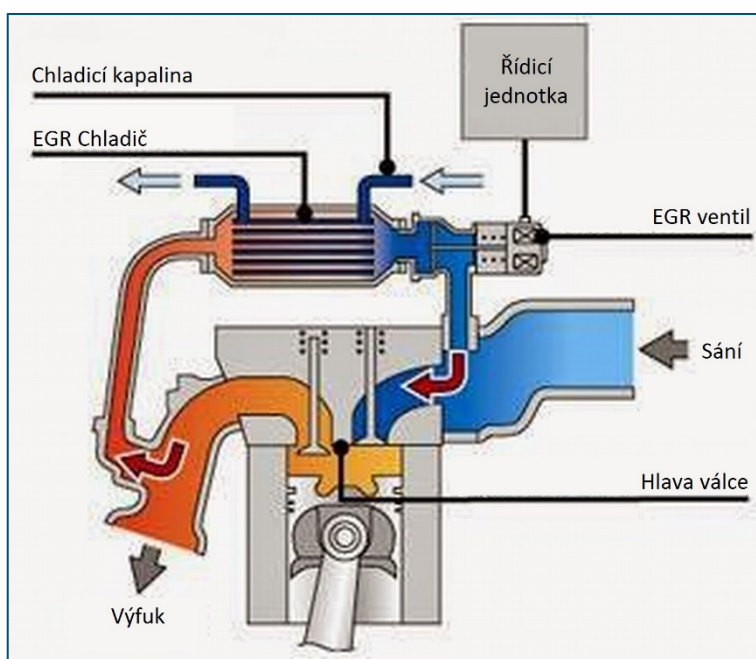
Obr. 5.4 a) Podtlakově ovládaný EGR ventil [39], b) Elektromagneticky ovládaný ventil [39]

Technologie EGR vyžaduje neustálé sledování otáček i aktuálního zatížení motoru pro svoje řízení. Tento řídicí proces zajišťuje řídicí jednotka motoru a vše se odehrává během předem daných oblastí, které určují vhodnou kombinaci mezi množstvím recirkulovaných plynů a otevřením škrtící klapky v rámci sání [40, 41].

Celý popsaný princip recirkulačního procesu systému EGR je znázorněn na obrázku 5.5. Z předem popsaných skutečností lze také konstatovat, že zobrazený systém využívá konceptu studené zástavby. Přednost této zástavby spočívá v podstatně slabším tepelném namáhání jednotlivých dílů, protože přepouštěcí ventil není umístěn v místě nasávání spalín u výfuku (levá větev potrubí – Obr. 5.5), ale až za speciálním EGR chladičem ve směru proudění recirkulovaných spalín (pravá potrubní větev – Obr. 5.5). Smíšená směs posléze opětovně putuje do válců motorů, což implikuje nižší produkci NO_x , jak již bylo předesláno na předchozí straně [32, 41].

Základní problém představuje poměr ve vztahu mezi NO_x a PM, který má nepřímou úměrnost. V praxi to znamená, že sníží-li se určitým opatřením hodnoty NO_x , následuje okamžité zvýšení hodnot produkce PM (a naopak). Z toho důvodu je zapotřebí produkci PM redukovat za pomoci vysokých vstřikovacích tlaků nebo zařazením filtru pevných částic do výfukového systému, který se se zavedením normy EURO VI stal nutností u všech vozidel [32, 39].

Systém EGR je z technického hlediska složitější. Vyžaduje v rámci motoru vysokotlaký vstřikovací systém, dvoustupňové přeplňování, a především výkonnější systém chlazení. Z principu recirkulace je také zřejmé, že část spalín, která prochází spalováním podruhé již znovu nehoří a snižuje množství palivové směsi. Z hlediska emisí jde o proces příznivý, avšak negativně působí na výkon motoru. Ten je, na rozdíl od SCR, snižován díky vysokému podílu recirkulovaných výfukových plynů. Nelze také opomenout nutnosti odvádět teplo odebrané spalínám a skutečnost, že pevné částice ze spalín zanáší sací potrubí i přes přítomnost filtru. Na druhou stranu však nejsou oproti systému SCR zapotřebí ke snížení emisí žádné aditiva a výhodu představuje také úspora hmotnosti i prostoru na vozidel [32, 39].



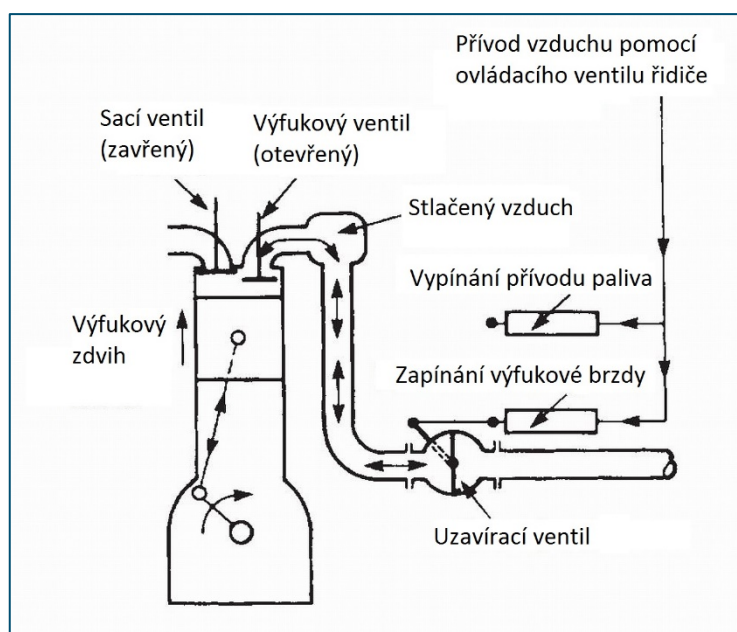
Obr. 5.5 Princip EGR [42]

Druhou možností, kterou systém recirkulace umožňuje je tzv. vnitřní EGR, které bylo vytvořeno ve snaze eliminovat zanášení recirkulačního obvodu. Obvod totiž není při této metodě vůbec zapotřebí a „recirkulace“ se dosahuje pokročilejším a přesnějším načasováním ventilů motoru. Zpravidla jde o úpravu spalovacího cyklu tak, aby se výfukový ventil uzavřel ještě před horní úvratí, což způsobuje, že část spalín zůstane uvnitř spalovací komory připravená na další kompresní zdvih válce. Ovšem spaliny díky tomuto systému neprocházejí přes chladič a zůstává jim vysoká teplota ze spalovacího procesu. To představuje značnou nevýhodu z hlediska účinnosti motoru, protože se plyny nepodílí na snižování teploty spalování, která přímou úměrou ovlivňuje emisní hodnoty [40].

5.3 Exhaust brake

Systém Exhaust brake¹⁸ představuje další z mnoha využití výfukových spalín. Jedná se o jeden z prvních retardérů¹⁹, jenž byl navržen roku 1925 ve Švýcarsku. Výfuková brzda je široce používaný, relativně levný kompaktní druh retardéru. V principu funguje stejně jako ostatní typy brzd – přeměňuje kinetickou energii vozidla na tepelnou. Retardéry však mají výhodu z hlediska opotřebení, protože přeměňují energii bez tření – nedochází k opotřebení. Používají se zejména u nákladních vozidel, kde slouží jako odlehčovací brzdy [43, 44].

Fyzicky se skládá z uzavíracího ventilu umístěného ve výfukovém systému (Obr. 5.6), který umožňuje motoru chování nízkotlakého vzduchového kompresoru. Tohoto chování je dosaženo uzavřením ventilu a tím i celého výfukového systému. Uzavírací ventil může být ovládán manuálně nebo automaticky a v obou případech musí být před použitím výfukové brzdy provedeno odříznutí vstřikování paliva, takže se stlačuje pouze čistý vzduch. Vše funguje jako při normálním pracovním cyklu, jen s tím rozdílem, že práce, vytvořena kompresním zdvihem pístu, vytváří zpomalující kroutící moment na klikovém hřídeli a tím brzdný účinek na straně o převodovky a kol. Stlačený vzduch nadále zůstává v potrubí i pracovní komoře. Při následném otevření sacího ventilu se tlak vyrovná a celý cyklus se může opakovat [43, 44]



Obr. 5.6 Schématické uspořádání výfukové brzdy [43]

¹⁸ Výfuková brzda.

¹⁹ Lidové označení pro provozní odlehčovací brzdu.

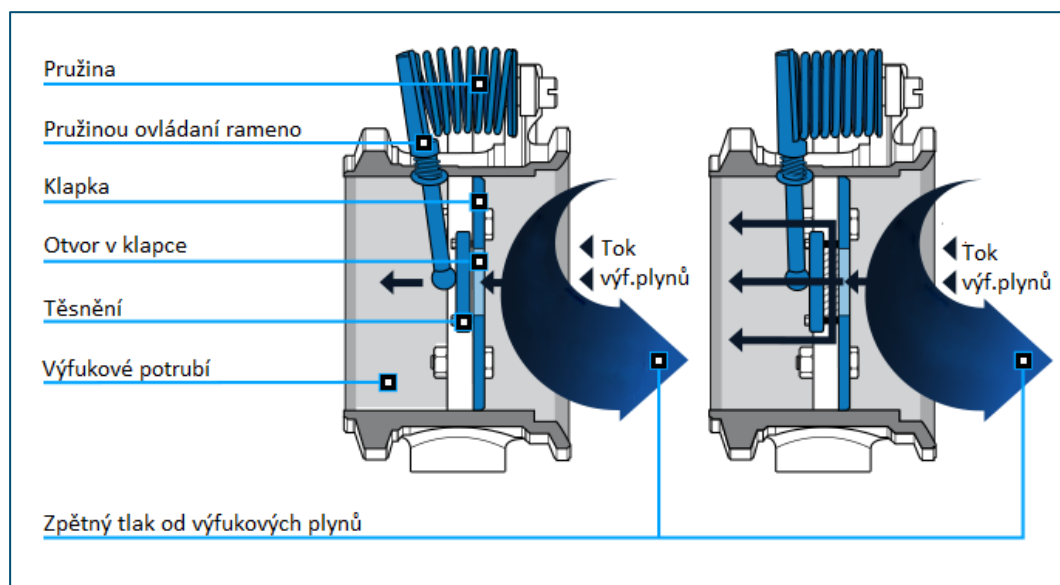
Jako uzavírací ventil je běžně používáno šoupátko nebo klapka (Obr. 5.7). Obě tyto komponenty musí být navrženy tak, aby nedocházelo k zabránění normálního toku výfukových plynů při otevřené poloze. Jedna z možných variant konstrukce klapky je spolu s funkcí zobrazena na obrázku na konci strany [43].

Protitlak způsobující brzdňý účinek vzniká z průtoku vzduchu, případně výfukových plynů. Ty se musí kvůli přehrazení klapkou vracet zpět, odkud přišly. Uzavření je udržováno za pomoci kalibrované pružiny umístěné na vnější straně výfukové skříně brzdy. Pružina reaguje na zvýšení otáček motoru, stlačuje se a hýbe ramenem pryč od klapky, čímž umožňuje větší průchod plynů otvorem. Naopak při poklesu otáček, způsobovaného brzděním, se pružina roztahuje. Pohybuje ramenem směrem ke klapce, čímž zakrývá otvor. Po úplném zahrazení výfukového potrubí následuje celý cyklus popsany na předchozí straně [43, 44, 45].

Nejdůležitějšími faktory ovlivňujícími konstrukci výfukových brzd jsou hlavně teplota výfukových plynů a tlak ve výfukovém potrubí. Celkový výfukového retardéru se následně odvíjí především od předpětí pružiny ventilu, uspořádání výfukového potrubí, otáček motoru, jeho zdvihového objemu a příslušným pořadím pro zapalování jednotlivých válců [43,44].

Vynikající výhodou tohoto retardéru je zvýšení životnosti brzdových obložení a bubnů, které se očekává u každého retardéru. Dále také menší výkyvy teploty a její konstantní udržitelnosti díky stlačení vzduchu, při kterém se mění mechanická energie na teplo. Množství stlačeného objemu hraje také důležitou roli z hlediska doby odezvy. Se zvětšujícím se objemem výfukového systému roste také čas potřebný pro vytvoření zpětného tlaku v potrubí a tím i doba odezvy, která běžně dosahuje rychlostí cca 0,2 s [43, 44].

Nevýhody jsou spojeny se vznikem pulzací v sacím systému (vedou k průniku nečistot skrz vzduchový filtr) a s maximálním brzdňým momentem. Ten nikdy nebude dosahovat hodnot klasických brzd. Jeho hodnota závisí hlavně na výkonu motoru a nachází se v rozmezí přibližně 30–70 % výkonu. Z předem popsaného principu pak logicky vyplývá, že největšího brzdňého momentu bude dosaženo při maximálních otáčkách motoru [43, 44].



Obr. 5.7 Funkce klapky (uzavíracího ventilu) [45]

6 ROZBOR AKTUÁLNÍHO PRACOVISTĚ

Aktuální pracoviště představuje montážní linka určená pro výrobu a kompletaci pneumatických ventilových bloků, které slouží k ovládání systémů popsaných v předcházející kapitole. Výrobní linka se skládá ze čtyř výrobních pracovišť, jejichž uspořádání dává výsledný tvar – půdorys písmene U.

Zde obsluha postupně sestavuje dané ventilové bloky na základě technologického postupu a za asistence výrobních zařízení. Jednotlivá zařízení vedou operátora posloupností montáže, kontrolují kompletnost i sestavení daných částí, zajišťují kontrolu, případně archivaci parametrů a tisknou identifikační štítky pro vyráběné produkty. Počet montážních kroků, kterými ventilový blok během své kompletace na pracovišti prochází, dosahuje maximálního čísla 67 a odvíjí se od vyráběné varianty.

Vytížení výrobní linky je z hlediska produkce téměř nepřetržitě. Výroba zde probíhá 5 dní v týdnu ve třisměnném provozu. Celkovou roční produkci i produkci jednotlivých variant ventilových bloků ukazuje následující tabulka 6.1. Položky s nulovou hodnotou poukazují na varianty, jejichž produkce je zanedbatelná, pohybuje se do 10 ks/rok, nebo je nulová.

Tab. 6.1 Roční produkce jednotlivých variant výrobku

| Výrobek | Roční produkce V1 | Roční produkce V2 |
|-------------------|-------------------|-------------------|
| | [ks/rok] | |
| Varianta 2+0 – a) | 60 092 | 2552 |
| Varianta 2+0 – b) | 1 912 | 0 |
| Varianta 2+1 | 800 | 0 |
| Varianta 3+0 | 0 | 291 |
| Varianta 3+1 | 472 | 0 |

Jak lze vypožorovat z tabulky, na výrobní lince se produkuje celkem 5 druhů výrobků. Jednotlivé varianty se mezi sebou liší v počtu ovládacích prvků (ventilů), které se umísťují do těla a jak již bylo několikrát zmíněno, ovládají systémy snižující emise ve výfukových spalínách. Těla jsou dále dodávána ve dvou variantách (V1 a V2), z nichž základní varianta V1, co se počtu týče, jednoznačně převyšuje druhou. Externě dodávaná těla prochází po odlití soustružením, povrchovou úpravou a dle produkce dosahuje jejich spotřeba cca 68 000 ks/rok.

Stejně jako se mezi sebou liší jednotlivé varianty, tak se také liší jejich hmotnosti, uvedené v tabulce 6.2.

Tab. 6.2 Váha jednotlivých variant výrobku

| Výrobek | Váha [kg] |
|-------------------|-----------|
| Varianta 2+0 – a) | 1,62 |
| Varianta 2+0 – b) | 1,62 |
| Varianta 2+1 | 1,72 |
| Varianta 3+0 | 1,87 |
| Varianta 3+1 | 1,97 |

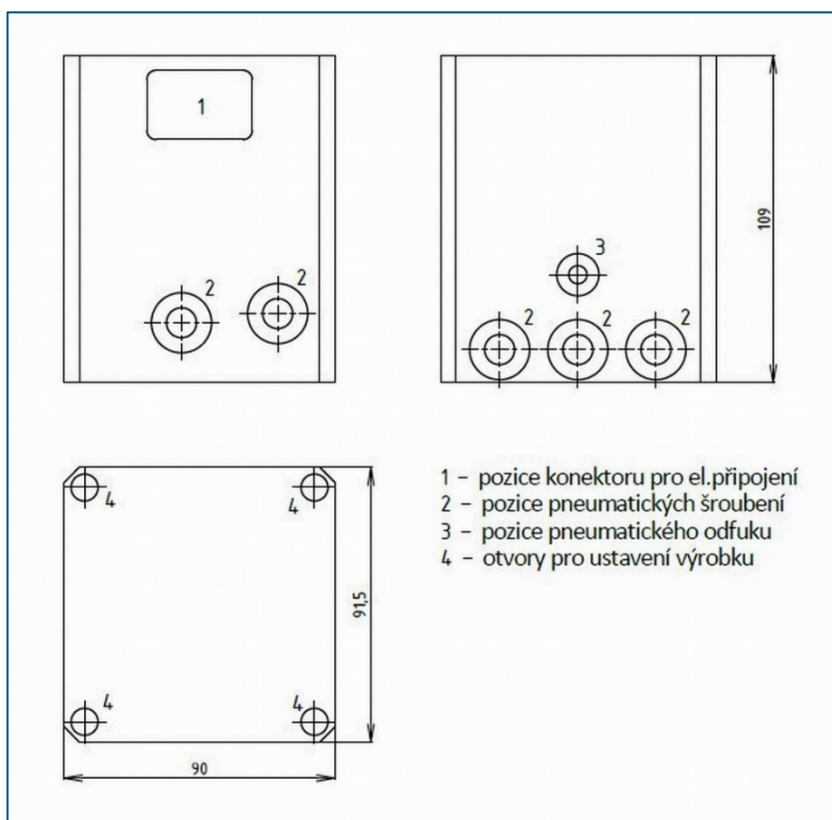
Venkovní tvar ventilového bloku přibližně odpovídá kvádru a jeho základní vnější rozměry jsou uvedeny v tabulce 6.3.

Tab. 6.3 Vnější rozměry výrobků

| Vnější rozměry | [mm] |
|----------------|------|
| Délka | 91,5 |
| Šířka | 93 |
| Výška | 109 |

Dle jednotlivých variant, se kromě vnitřních prvků liší také ty venkovní. V závislosti na počtu ovládacích prvků jsou z vnější části, během výrobního procesu, na tělo šroubovány různé druhy šroubení (fitinek) pro připojení pneumatických hadic. Současně také tělo obsahuje konektor pro připojení elektrotechniky sloužící k ovládání a v neposlední řadě také odfuky, krytování odfuků nebo různá těsnění. Schéma bloku i s popisem a polohou jednotlivých kusů znázorňuje obrázek 6.1.

V rámci dalšího rozboru napříč celou závěrečnou kvalifikační prací, jsou všechna data, tabulky, grafy i vyhodnocení vztažena k variantě 2+0, která tvoří přibližně 95 % produkce výrobní linky (Tab. 6.1). Jednoznačně tak převyšuje všechny ostatní vyráběné varianty a je tedy nanejvýš vhodné provádět optimalizaci vzhledem k této variantě.



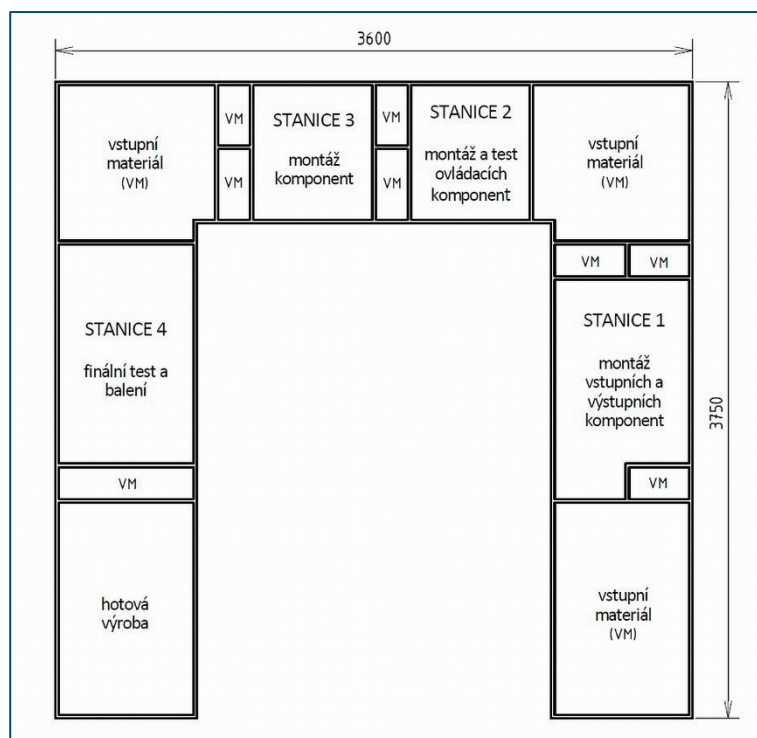
Obr. 6.1 Schéma vyráběného ventilového bloku

6.1 Layout a popis výrobní linky

Do výrobní linky s layoutem tvarovaným do „U“ vstupuje i vystupuje materiál ze stejné strany, a představuje tak společný výchozí i návratný bod pro základní komponentu (tělo výrobku) nebo hotový kompletní kus. Linky s tímto uspořádáním umožňují operátorům plnohodnotnou manipulaci s výrobkem do i ven z buňky i lepší možnosti pro vybalancování. V případě práce více operátorů také zabezpečují lepší spolupráci a vzájemnou pomoc ve středu [22]. Layout výrobní linky spolu s její fotografií lze vidět na následujících obrázcích 6.2 a 6.3.



Obr. 6.2 Výrobní linky



Obr. 6.3 Layout výrobní linky

Jak lze vypořádat z obrázku 6.2 na předchozí straně, výrobní linka není složena jen ze čtyř výrobních stanic, ale nachází se zde také velké množství pozic pro materiály vstupující do výrobního procesu. Všechny komponenty nutné k výrobě daného produktu mají svou vlastní jednoznačně označenou lokaci. Lokace jsou v rámci organizace pracoviště a systému 5S umístěna na lince tak, aby zabezpečovala snadnou dostupnost s ohledem na četnost používání a byla svou polohou přítomna co nejblíže místu, kde dochází k montáži. Dle velikosti i náchylnosti k poškození jsou komponenty umístěny zejména v plastových přepravních boxech (KLT – Obr. 6.4 a)) nebo v plastových tubách s uzavíratelnými koncovkami pro lepší manipulaci s materiálem (Obr. 6.4 b)).

Všechny operace, výrobní kroky i vlastně celý technologický proces prováděný napříč jednotlivými stanicemi (1–4) dále podléhá standardizaci, která představuje základní prvek pro zlepšování jakéhokoli procesu. V rámci těchto standardů jsou vytvořeny závazné dokumenty umístěné na výrobní lince. Tyto instrukce (návod) definují každý krok v procesu tak, aby mohl být opakovaně prováděn stále stejným způsobem. Všechny kroky mají jasně danou a podrobnou definici srozumitelnou především pro operátory pracující na lince. Z tohoto důvodu obsahují pracovní postupy barevně označená obrázková znázornění podporující především cíle spojené s redukcí chyb, variabilitou procesů a se zvýšením bezpečnosti. Zároveň také zajišťují velmi důležitý podpůrný faktor pro zajištění jakosti výrobku [22].

Pro zajištění požadované jakosti (kvality) produktu je rovněž napříč celou montážní linkou aplikován princip systému Poka-Yoke²⁰. Tento systém zabraňuje vzniku neshod a snaží se o minimalizaci neúmyslných chyb ve výrobních procesech. Pochybení vznikají poměrně jednoduše – nedorozuměním, špatnou identifikací nebo zejména díky zapomnětlivosti, ke které mají lidé sklony. V důsledku to pak znamená například vynechané montážní operace, chybějící komponenty, vadnou montáž, nesprávné provedení kvůli špatnému zakládání kusu apod. V principu jde o uzpůsobení průběhu výroby tak, aby bylo možné provádět výrobní či montážní operaci pouze jediným způsobem. V rámci výrobní linky se tak jedná například o různé barevně i tvarově odlišené konektory a zástrčky zajišťující ustavení pouze jedním správným směrem, aby nemohl operátor udělat chybu. Současně jsou také jednotlivé komponenty kontrolovány řadou indukčních, kapacitních i optických snímačů, které zabezpečují správné vložení, montáž nebo kontrolují přítomnost komponent. Teprve na základě správného provedení kroku předchozího, je umožněno provedení (uvolnění) kroku následujícího [47].



Obr. 6.4 a) VDA KLT 4314 [46], b) Tuby na materiál

²⁰ Japonský výraz, lze přeložit jako chybu-vzdorný.

6.1.1 Popis montážních kroků

Stanice č. 1 – montáž vstupních a výstupních komponent

Stanice představuje první část výrobní linky, na které se začíná s výrobou ventilového bloku. Probíhá zde montáž vstupních i výstupních komponent, kterými jsou pneumatická šroubení (fitinky) a pneumatické odfuky ventilového bloku. Posloupnost i popis jednotlivých montážních (výrobních) kroků znázorněný v tabulkách 6.4–6.7 se vztahuje k variantě 2+0, která představuje nejvíce vyráběnou variantu. Rozdíl mezi montážními kroky jednotlivých variant je součástí analýzy v následující podkapitole 6.2.

Tab. 6.4 Stanice č. 1 – popis montážních kroků

| Krok | Popis |
|------|--|
| 1.1 | Vložení těla do přípravku s pneumatickým upínáním (pozice č. 1). |
| 1.2 | Upnutí za pomoci dvouručního elektronického spínání. |
| 1.3 | Našroubování filtrační komponenty pneumatickým šroubovákem. |
| 1.4 | Kontrola správnosti našroubování otočením výrobku ke snímači a zpět. |
| 1.5 | Nasazení podložky na pneumatické šroubení (fitinka č. 1). |
| 1.6 | Našroubování fitinky č. 1 (šroubení) pneumatickým šroubovákem. |
| 1.7 | Natočení těla do pozice č. 2 pro další montáž. |
| 1.8 | Vložení rozptylovače vzduchu (difusoru). |
| 1.9 | Kontrola vložení rozptylovače přípravkem umístěným na stanici. |
| 1.10 | Vložení těsnění pneumatického odfuku. |
| 1.11 | Vložení krytky pneumatického odfuku. |
| 1.12 | Přišroubování komponent odfuku pneumatickým šroubovákem. |
| 1.13 | Nasazení podložky na pneumatické šroubení (fitinka č. 2). |
| 1.14 | Našroubování fitinky č. 2 (šroubení) pneumatickým šroubovákem. |
| 1.15 | Natočení těla do počáteční pozice č. 1. |
| 1.16 | Odepnutí za pomoci dvouručního elektronického spínání. |
| 1.17 | Vyjmutí rozpracovaného výrobku z přípravku. |

Stanice č. 2 – montáž a test ovládacích komponent

Na stanici č. 2 prochází rozpracovaný výrobek z předchozí stanice testováním a nastavováním ovládacích prvků umísťovaných do těla ventilového bloku. Po nastavení hodnot se na regulační část ovládacích prvků nanáší lepidlo pro zajištění jeho polohy. Jednotlivé kroky a jejich popis je znázorněn v tabulce 6.5.

Tab. 6.5 Stanice č. 2 – popis montážních kroků

| Krok | Popis |
|-------------|---|
| 2.1 | Vložení rozpracovaného výrobku ze stanice č. 1 do přípravku stanice č. 2. |
| 2.2 | Vložení ovládacího prvku č. 1 do těla. |
| 2.3 | Vložení ovládacího prvku č. 2 do těla. |
| 2.4 | Zasunutí přípravku do zadní polohy. |
| 2.5 | Upnutí a spuštění testu pomocí dvouručního elektronického spínání. |
| – | Následuje první část testování, po jejímž skončení následují další kroky. |
| 2.6 | Nastavení tlaku pomocí šroubováku na ovládacím prvku č. 1. |
| 2.7 | Nastavení tlaku pomocí šroubováku na ovládacím prvku č. 2. |
| 2.8 | Nanesení lepidla pro zajištění nastaveného ovládacího prvku č. 1. |
| 2.9 | Nanesení lepidla pro zajištění nastaveného ovládacího prvku č. 2. |
| – | Dokončení testu a následné automatické odepnutí. |
| 2.10 | Vysunutí přípravku ze zadní polohy. |
| 2.11 | Vyjmutí rozpracovaného výrobku z přípravku. |

Stanice č. 3 – montáž komponent

Třetí stanice je technologicky uzpůsobena pro kontrolu správnosti nanesení lepidla ze stanice předchozí a současně také pro montáž dalších vnitřních komponent. Jedná se zejména o těsnění, konektorovou desku, případně čtvrtý ovládací prvek, pokud se ve vyráběné variantě nachází. Následně se všechny komponenty zakrytují a již hotový výrobek pokračuje na poslední čtvrtou stanici. Jednotlivé montážní kroky třetí stanice jsou uvedeny v tabulce 6.6.

Stanice č. 4 – finální test a balení

Poslední stanici před výstupem produktu z výrobní linky představuje finální, koncový test. Jedná se o závěrečný test, který otestuje celkovou funkci ventilového bloku a na základě jeho výsledku vytiskne připojená tiskárna identifikační štítek. Ten následně operátor lepí na hotový výrobek. Poté se dle vyráběné varianty balí jednotlivé výrobky vždy do plastových sáčků a následně do plastového přepravního boxu určeného pro expedici k zákazníkovi (u některých variant přijde výrobek zabalit i do papírové krabičky). Posloupnost kroků uskutečňovaných na poslední stanici je uvedena v následující tabulce 6.7.

Tab. 6.6 Stanice č. 3 – popis montážních kroků

| Krok | Popis |
|------|---|
| 3.1 | Vložení rozpracovaného výrobku ze stanice č. 2 do přípravku stanice č. 3. |
| 3.2 | Upnutí za pomoci dvouručního elektronického spínání. |
| 3.3 | Vložení talířové pružiny na ovládací prvek č. 1. |
| 3.4 | Vložení talířové pružiny na ovládací prvek č. 2. |
| 3.5 | Kontrola pružin a lepidla přípravkem umístěným na stanici. |
| 3.6 | Vložení těsnění do spodní části kontaktní desky. |
| 3.7 | Umístění kontaktní desky s komponenty do těla výrobku. |
| 3.8 | Usazení těsnicího kroužku za pomoci přípravku na ovládací prvek č. 1. |
| 3.9 | Usazení těsnicího kroužku za pomoci přípravku na ovládací prvek č. 2. |
| 3.10 | Kontrola usazení těsnicích kroužků přípravkem umístěným na stanici. |
| 3.11 | Vložení těsnění do horní části kontaktní desky. |
| 3.12 | Umístění krytu na kontaktní desku uloženou v těle. |
| 3.13 | Upnutí krytu za pomoci dvouručního elektronického spínání. |
| 3.14 | Přišroubování všech komponent a krytu k tělu čtyřmi šrouby. |
| 3.15 | Odepnutí pomocí dvouručního elektronického spínání. |
| 3.16 | Vyjmutí hotového výrobku z přípravku. |

Tab. 6.7 Stanice č. 4 – popis montážních kroků

| Krok | Popis |
|------|---|
| 4.1 | Vložení hotového výrobku ze stanice č. 3 do přípravku stanice č. 4. |
| 4.2 | Spuštění finálního testu za pomoci dvouručního elektronického spínání. |
| – | Následuje testování a automatické odepnutí po dokončení testu. |
| 4.3 | Vyjmutí hotového výrobku z testovacího přípravku. |
| 4.4 | Vložení otestovaného výrobku do přípravku pro lepení štítku. |
| 4.5 | Označení otestovaného výrobku identifikačním štítkem. |
| 4.6 | Zabalení výrobku do plastového sáčku, případně krabičky (dle varianty). |
| 4.7 | Umístění zabaleného výrobku do přepravního boxu. |

6.2 Aktuální normy pro operátory

Jednotlivé počty vyráběných kusů byly stanoveny dle tzv. snímku pracovního dne, jenž představuje jednu z metod pro analýzu práce. Jedná se o metodu přímého nepřetržitého a bezprostředního měření práce, díky níž zjišťujeme skutečnou spotřebu času pracovníků. Tyto časové studie jsou primárně zaměřeny na sledování i vyhodnocování využití pracovní doby. Pozorovatel je celou dobu přítomen na výrobní lince v kontaktu s pracovníky, díky čemuž může získávat podrobné informace o činnostech během celého pracovního dne a lépe vyhodnotit příčiny neefektivního využití pracovního času. Výsledky pozorování lze následně využít ke kvantifikaci jednotlivých činností, případně určení výrobních norem [22].

Každá z vyráběných variant produktu má aktuálně dané výrobní normy. Těmito normami se rozumí počet vyráběných kusů za hodinu a jejich hodnoty jsou uvedeny v tabulce 6.8 na konci strany. Na výrobní lince mohou vzhledem k technologickému procesu, počtu stanic i délce probíhajících operací pracovat až dva operátoři, z čehož také plynou vyšší hodnoty norem. Počet pracovníků je také dán rozměry výrobní linky tak, aby si operátoři při práci nepřekáželi. V případě většího počtu by nebyla pracovní síla tolik využívána (ekonomicky nevýhodné), docházelo by k větší stereotypnosti práce, z čehož by dále mohly pramenit neshody ve výrobě.

Jak lze postřehnout z již předem zmíněné tabulky, výrobní normy pro operátory se napříč posledními třemi lety postupně zvyšovaly. Jednotlivá navýšení byla dána stále se zvětšujícími požadavky zákazníka na počty dodávaných výrobků. Tento proces zvyšování výrobních kapacit bývá vždy doprovázen příslušnými změnami v technologickém procesu, případně úpravami ve výrobě a jinak tomu nebude i nyní, při snaze zvýšit efektivitu tohoto montážního pracoviště.

V tabulce lze zaznamenat růst zejména v oblasti výroby jedním operátorem, kdy se počet vyráběných kusů zvýšil od roku 2014 u všech variant přibližně o 50 %. Naopak v případě dvou operátorů byl nárůst výrazně nižší, pouze o jeden kus (6–10 %) v roce 2015. Nižší navýšení norem je samozřejmě dáno vyšší využitelností výrobní linky dvěma operátory, kdy na všech stanicích probíhají operace současně. Zatímco se testují kusy na stanicích 2 a 4, operátoři pracují na stanicích 1 a 3 apod. Rozdíly mezi normami jednotlivých variant dále souvisí s počty ovládacích prvků, jak již bylo několikrát zmíněno. Od tohoto počtu se také odvíjí doba testování, nastavování tlaků a také montážních kroků. Rozdíly v těchto krocích pro jednotlivé varianty jsou dále popsány v závěru této podkapitoly.

Tab. 6.8 Výrobní normy pro operátory

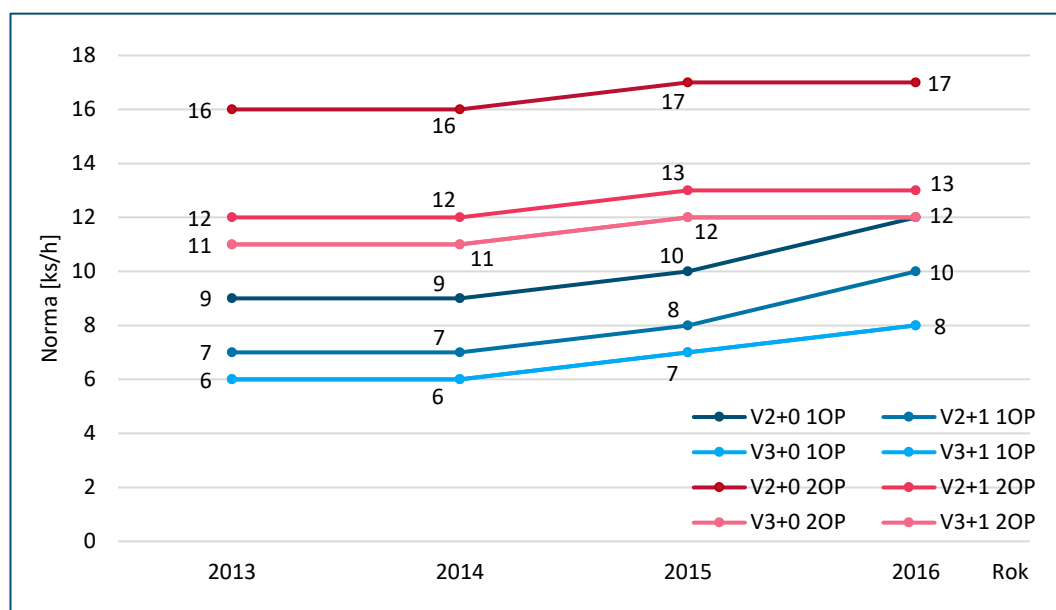
| Rok | 2013 | | 2014 | | 2015 | | 2016 | |
|------------------------|-------------|-----|-------------|-----|-------------|-----|-------------|-----|
| Počet operátorů | 1OP | 2OP | 1OP | 2OP | 1OP | 2OP | 1OP | 2OP |
| Varianta 2+0 – a) | 9 | 16 | 9 | 16 | 10 | 17 | 12 | 17 |
| Varianta 2+0 – b) | 9 | 16 | 9 | 16 | 10 | 17 | 12 | 17 |
| Varianta 2+1 | 7 | 12 | 7 | 12 | 8 | 13 | 10 | 13 |
| Varianta 3+0 | 6 | 11 | 6 | 11 | 7 | 12 | 8 | 12 |
| Varianta 3+1 | 6 | 11 | 6 | 11 | 7 | 12 | 8 | 12 |

Trend růstu výrobních norem během jednotlivých let lze také vypožorovat z grafického zobrazení (Obr. 6.5) na konci strany. Mezi lety 2013, 2014 se počet vyráběných kusů neměnil stejně jako mezi roky 2015, 2016 u montáže dvěma operátory. Tento postupný růst lze kromě větších technologických, či konstrukčních zásahů připisovat také systému neustálého zlepšování, který je aplikován napříč celou společností a také nemalou měrou přispívá ke zvyšování těchto hodnot.

Systém kontinuálního neustálého zlepšování, nazývaný jako Kaizen²¹, představuje specifický přístup podporující motivaci pracovníků a jejich zapojení do změn k lepšímu. Systém vyjadřuje úsilí, které není realizováno velkými jednorázovými inovačními skoky, nýbrž zdokonalováním i těch nejmenších detailů. Celý proces napomáhá k redukci nákladů, odstranění plýtvání i k optimalizaci výrobních procesů, zvyšování produktivity a zlepšování kvality [6, 48].

Kaizen představuje také samotný zlepšovací návrh, který má příležitost navrhnout kdokoliv v rámci firmy. Systém tak poskytuje příležitost všem zaměstnancům doporučovat jakákoliv zlepšení, čímž dále podporuje zapojení zaměstnanců do chodu firmy a přispívá k trvalému rozvoji a růstu organizace. Jako motivace pro zapojení se do zlepšování chodu firmy dostává každý zaměstnanec za zrealizovaný návrh finanční odměnu, která se liší dle úrovně kaizenu a úspor, kterých se realizací dosáhne. Před samotnou realizací je však důležité napřed přesně analyzovat možné pozitivní nebo negativní vlivy daného návrhu s ohledem na existující aktuální stav [6, 48].

Jako názorná ukázka počtu realizovaných zlepšení je na následující straně uveden graf. Ten zobrazuje množství kaizenů na výrobní lince, kterou se práce zabývá, během posledních tří let (Obr. 6.6). Z grafického znázornění lze vypožorovat, jak se postupem let množství návrhů snižuje, což logicky vyplývá z možností inovací, které linka poskytuje. V případě, že by tento trend pokračoval, dosáhla by linka za několik let teoreticky optimálního stavu bez dalších možností na zlepšení.



Obr. 6.5 Růst norem během posledních let

²¹ Z japonského KAI = změna a ZEN = dobrý.

Varianta 2+0 – dva ovládací prvky

Ventilový blok obsahující dva ovládací ventily představuje z hlediska kompletace nejrychleji montovaný ventilový blok. Tato skutečnost logicky vyplývá z nejmenšího počtu přítomných komponent, montážních kroků i kratšího testování a počet vyráběných kusů za hodinu je tedy největší (znázorněno v tabulce 6.8, případně na obrázku 6.5). Varianta obsahuje pouze dvě pneumatická šroubení (fitinky) a jeden pneumatický odfuk. Celkem tedy 51 montážních kroků uvedených v předchozí podkapitole.

Varianta 2+1 – tři ovládací prvky

Do další na lince vyráběné varianty ventilového bloku je zapotřebí během kompletace, v rámci vstupních, případně výstupních komponent, sestavit dva pneumatické odfuky spolu se šroubením dvou pneumatických fitinek. Mimo jiné také přibývá jeden ovládací prvek a počet montážních kroků se navyšuje na hodnotu 59. Jednotlivé montážní kroky pro jsou přiloženy v příloze č. 2.

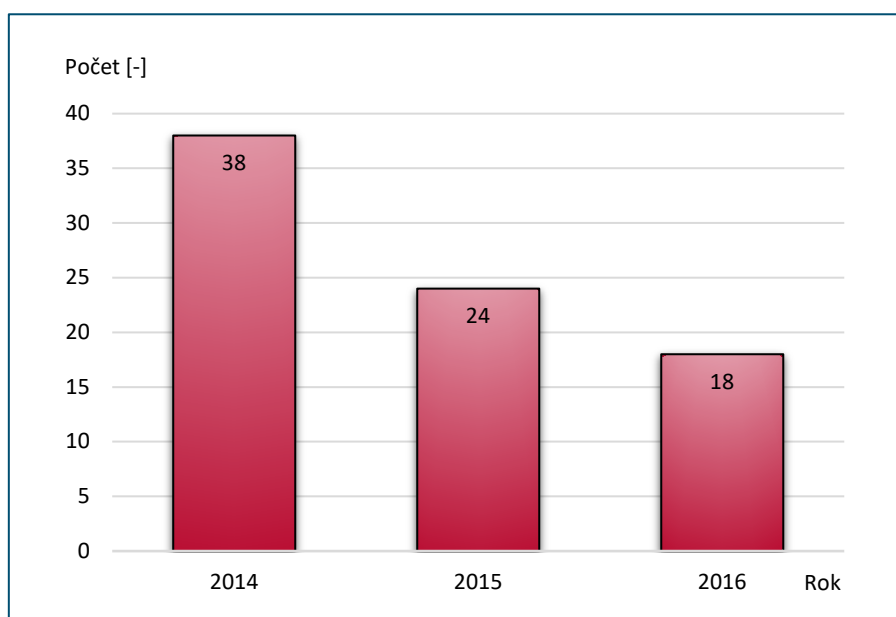
Varianta 3+0 – tři ovládací prvky

Tato verze ventilového bloku má 3 pneumatická šroubení, taktéž 3 ovládací prvky a dva pneumatické odfuky stejně jako předchozí varianta. V celkovém součtu je ke kompletaci zapotřebí 65 montážního kroků (příloha č. 2).

Varianta 3+1 – čtyři ovládací prvky

Do poslední na lince vyráběné varianty ventilového bloku se během kompletace musí, v rámci vstupních, případně výstupních komponent, sestavit dva pneumatické odfuky spolu se čtyřmi pneumatickými šroubeními. Z montážního hlediska se jedná o variantu nejrozšířenější a její kompletace zabírá největší množství času – rozdělené do 67 montážních kroků (příloha č. 2).

V rámci čtvrté stanice, která zajišťuje ve výrobním procesu finální test a balení, mají všechny kompletované varianty stejný počet montážních kroků. Jediný rozdíl zde představuje skutečnost, že některé varianty jsou baleny jen do plastového sáčku, jiné do papírové krabičky.



Obr. 6.6 Množství realizovaných kaizenů

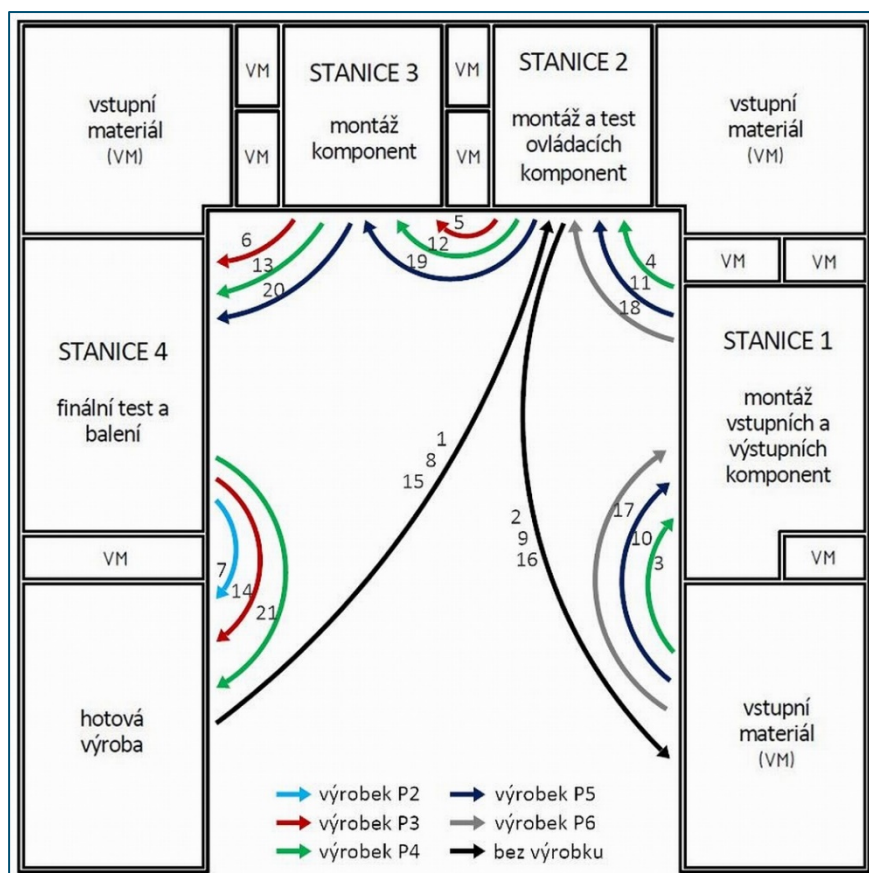
6.3 Grafické zobrazení současného stavu

6.3.1 Spaghetti diagram

S balancováním operací na výrobní lince také současně souvisí pohyb operátora i pohyby jednotlivých materiálů. K vyjádření této cesty, kterou produkt, či operátor vykoná v průběhu montážního procesu slouží tzv. Spaghetti diagram²². Jeho výstupem by mělo být zhodnocení současného stavu a určení, případně porovnání ujitých metrů v rámci celého procesu, které by mělo v případně nevhodných výsledků projít optimalizací. Každý metr navíc sebou totiž nese čas, který v sériové výrobě znamená nižší produktivitu

Výroba jedním operátorem

V rámci výroby jedním pracovníkem, provádí operátor všechny montážní kroky (rozeepsané na předchozích stranách) sám. Na následujícím diagramu (Obr. 6.7) lze vidět cestu, kterou musí operátor vykonat k produkci jednoho kusu. Jednotlivé pohyby jsou znázorněny pro výrobu za ustáleného stavu a byly zjištěny důkladným pozorováním pracovníků při práci. Ustálený stav v tomto případě znamená, že první, již hotový kus (P1) je umístěn do hotové výroby, druhý kus (P2) prochází finálním testováním a třetí kus (P3) se nachází v testu ovládacích komponent uprostřed výrobní linky. Ze zpracovaného diagramu lze vypočítat nepříliš vyhovující pohyb pracovníka výrobní linkou, který oproti optimální variantě (výroba po jednom kusu) absolvuje hodně přecházení mezi stanicemi. Zejména pak díky stanici č. 2, na kterou se operátor během výroby několikrát vrací, ale také díky špatně vybalancovaným operacím (rozebráno níže), kdy při montáži jednoho kusu stihne operátor rozpracovat další dva.



Obr. 6.7 Pohyby operátora a výrobku během montáže (IOP)

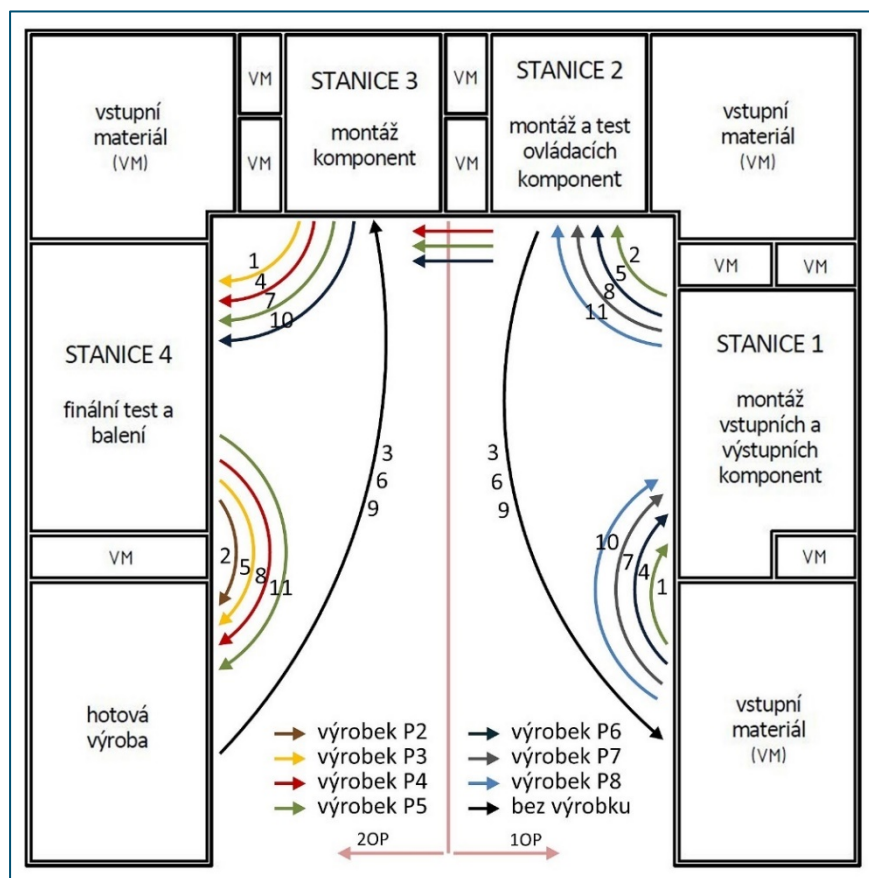
²² Spaghetti diagram = špagetový diagram, dle cest připomínajících tento druh těstovin.

Dále byl díky pozorování i následnou vlastní zkouškou výrobního procesu určen počet kroků, nutný k výrobě jednoho kusu dle uvedeného Spaghetti diagramu. V rámci montáže bylo nutno udělat 49,5 kroku, což při průměrné délce kroku operátora prováděného na výrobní lince (0,5 m) dělá ve výsledku přibližně 25 m.

Výroba dvěma operátorem

Ve výrobě probíhající o dvou operátorech, se práce rozděluje, jak lze vidět na následujícím diagramu (Obr. 6.8). Jeden pracovník obstarává první a druhou stanici, zatímco druhý se zaměřuje zejména na stanici třetí a čtvrtou. Současnou montáží dvěma operátory dochází k podstatně většímu využití jednotlivých stanic a dochází tak k navýšení počtu vyráběných kusů za hodinu o takřka 50 % (viz 6.2 Aktuální normy pro operátory). S větším počtem operátorů i vyššími normami také samozřejmě souvisí výsledný tvar diagramu, který je z hlediska přecházení operátorů podstatně příznivější než v případě předchozím. Operátoři zde nepřechází od rozpracovaných kusů mezi jednotlivými stanicemi, ale postupují danou posloupností stanic. Stejně jako v případě předchozím jde o stav ustálený s již vyrobeným kusem P1, výrobkem P2 v testování na stanici č. 2 a výrobkem P3 procházejícím finálním testem na stanici č. 4.

Při výrobě jednoho kusu (v diagramu výrobek P5) musí udělat operátoři 50 kroků, což v přepočtu dělá 25 m stejně jako v případě jednoho pracovníka. První operátor musí v rámci obsluhy první poloviny výrobní linky udělat 23 kroků (11,5 m), zatímco druhý operátor musí vykonat kroků 27 (13,5 m). Větší ujitá vzdálenost druhého operátora je dána zřejmě nepatrně většími rozestupy mezi stanice č. 3, 4 a hotovou výrobou.



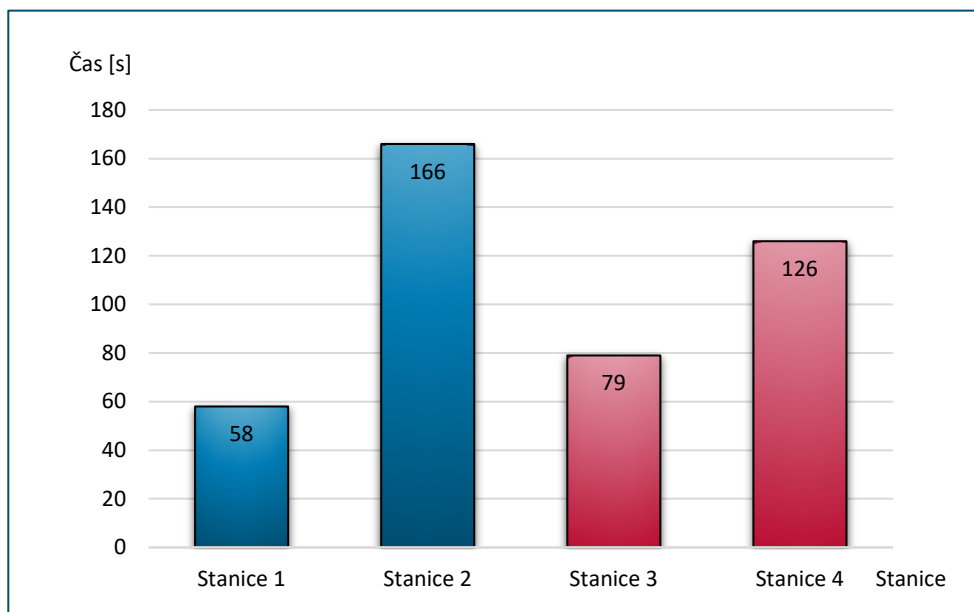
Obr. 6.8 Pohyby operátora a výrobku během montáže (2OP)

6.3.2 Balance chart

Celý výrobní proces je z časového hlediska zobrazen v následujícím balančním diagramu (Obr. 6.9), který ukazuje reálnou spotřebu času pro jednotlivé stanice odečtenou z pořízené videonahrávky výrobního procesu. Barevná rozlišení jednotlivých sloupců znázorňují rozdělení stanic a jejich časů v případě výroby dvěma operátory a hodnoty byly zprůměrovány ze tří časových měření. Balanční diagramy pro ostatní varianty výrobku jsou součástí přílohy č. 3.

Co se týče daných časů, byly zjištěny při postupné výrobě jednoho kusu tak, aby šlo následným srovnáním s teoretickou spotřebou času určit odchylky vznikající během procesu. V rámci měření času, dle skutečného průběhu výroby (Spaghetti diagram), by dosahovaly časy mnohem vyšších hodnot. Avšak o problému s velkým množstvím přecházení i rozpracovanosti výroby podávají již dostatečné informace předchozí diagramy.

Jak již bylo zmíněno v teoretické části (viz 4.3 Balance chart), grafické znázornění v podobě časových sloupců ukazuje vyváženost, či rozložení výrobního procesu. Pro balancování i optimalizaci jednotlivých výrobních časů je důležitá tendence, či snaha dostat sloupce na jednu přibližně stejnou časovou úroveň. Tímto srovnáním se dosahuje kontinuálního toku výrobku danou montážní linkou a zamezuje se tak prostojům. Z aktuálního níže zobrazeného stavu lze vypočítat časovou nevyváženost stanic, kdy testovací stanice (č. 2 i 4) podstatně časově převyšují stanice montážní. Zejména pak stanice druhá, která svým nejdelším časem i nutností práce operátora během samotného testování způsobuje poměrně vysoké prostoje, případně velké množství přecházení.



Obr. 6.9 Balance chart aktuálního stavu výrobní linky

6.4 MOST studie

Během analýzy výrobní linky byla dále aplikována metoda MOST (viz 4.2 MOST), která slouží k výpočtu 100% efektivity a teoretické spotřeby času probíhajících prací. Výstupem jsou časové normy, které určují celkovou spotřebu času na výrobu jednoho kusu, ale i samostatné časy jednotlivých stanic, případně dílčích operací. Výstupní data ze studie lze vidět v tabulce 6.9, ukázka několika vět následně na obrázku 6.10 a celá studie je dále uvedena samostatně v příloze č. 4.

Ve výstupních datech lze vypočítat celkovou časovou spotřebu v minutách, sekundách i speciálních jednotkách TMU (viz 4.2 MOST) a spotřebu jednotlivých stanic. Dále se k celkovým časům připočítává přírážka, obvykle v rozmezí 0–15 %, která v rámci výrobního procesu zahrnuje odstraňování prokladů z přepravek, samotných prázdných KLT, pití operátora, vypisování identifikačních karet apod. V případě prováděné studie byla přírážka stanovena na 0 % a to z hlediska relevance následujícího porovnávání s reálnou časovou spotřebou určenou balančním diagramem, který byl zaznamenán během výroby jednoho kusu bez těchto úkonů zahrnovaných do přírážky.

Z teoretických časových hodnot lze stejně jako v předchozím případě pozorovat nejvyšší spotřebu u stanic č. 2 a 4., avšak hodnoty mají zpravidla vždy nižší než spotřeba reálná.

| Stanice | Čís. | Popis operace | Sekvence | | | | | | | | Opak. | TMU | Čas op. [s] |
|---------|------|---|----------|---|---|---|---|---|---|--|-------|-----|-------------|
| | 1 | Vložení těla do přípravku na stanici č.1 | A | B | G | A | B | P | A | | 1 | 100 | 3,60 |
| | | | 3 | 0 | 1 | 3 | 0 | 3 | 0 | | | | |
| | 2 | Najetí upínací částí přípravku k tělu | A | B | G | M | X | I | A | | 1 | 30 | 1,08 |
| | | | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | | | | |
| | 3 | Upnutí těla pomocí dvouručního spínání | A | B | G | M | X | I | A | | 1 | 30 | 1,08 |
| | | | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | | | | |
| | 4 | Nasazení filtrační komponenty na šroubovák | A | B | G | A | B | P | A | | 1 | 110 | 3,96 |
| | | | 1 | 0 | 3 | 1 | 0 | 6 | 0 | | | | |
| | 5 | Zašroubování filtrační komponenty do těla | A | B | G | M | X | I | A | | 1 | 60 | 2,16 |
| | | | 0 | 0 | 0 | 1 | 3 | 1 | 1 | | | | |
| | 6 | Kontrola správnosti našroubování (otočení kusem o 90° a zpět) | A | B | G | M | X | I | A | | 1 | 50 | 1,80 |
| | | | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | | | | |

Obr. 6.10 Ukázka několika MOST vět

Tab. 6.9 Výstupní data MOST studie

| Úsek | Minuty | Sekundy | TMU |
|------------------|--------|---------|-------|
| Stanice č. 1 | 0,94 | 56,16 | 1560 |
| Stanice č. 2 | 2,48 | 148,68 | 4130 |
| Stanice č. 3 | 1,25 | 74,88 | 2080 |
| Stanice č. 4 | 2,03 | 122,40 | 3400 |
| Celková spotřeba | 6,70 | 402,12 | 11170 |

6.5 SMED studie – změna výroby

Při prvotní analýze bylo, za účelem podání komplexních návrhů na zlepšení, přistoupeno také k rozboru procesů a úkonů, které se provádí během přestavení výrobní linky z jedné varianty výrobku na druhou. Tato studie se dělí do čtyř základních kroků (viz 4.4 SMED) a na následujících stranách jsou zpracovány první 3 kroky, jejichž výstup představuje obecné rady a doporučení.

Analýza a oddělení interních a externích činností

Níže uvedená tabulka 6.10 znázorňuje všechny činnosti prováděné během změny výroby z jedné varianty výrobku na druhou. Některé body, jako například našroubování těsnění pro čtvrtý ovládací prvek, se neprovádí vždy, ale záleží na obou variantách. Jiné procesy zase probíhají současně a vzájemně se prolínají (shodující se barevné odlišení) – na přestavení výroby se totiž ve většině případů podílí 2 osoba (operátor, předák). Časová hodnota bodu 11 (Kontrola procesu při výrobě prvního kusu) byla vyhodnocena jako střední hodnota všech variant.

Tab. 6.10 Činnosti prováděné během změny výroby

| Činnost | Pracovní stanice | Interní/Externí | Čas [s] |
|--|------------------|-----------------|---------|
| 1 Odvoz hotové výroby | – | EX | 240 |
| 2 Vychystání materiálu a jeho kontrola | 1–4 | EX | 140 |
| 3 Výměna otočných přípravků (4 šrouby) a kontrola těsnění | 1 | IN | 130 |
| 4 Výměna redukcí na připojení testovacího okruhu | 2 | IN | 20 |
| 5 Našroubování těsnění pro čtvrtý ovládací prvek | 2 | IN | 50 |
| 6 Kontrola a vážení dávkovaného média | 2 | IN | 90 |
| 7 Nastavení zakázky (naskenování PN ²³ a WO ²⁴) | 2 | IN | 20 |
| 8 Uvolnění testovací stanice dummy ²⁵ kusem | 2 | IN | 105 |
| 9 Uvolnění testovací stanice dummy kusem | 4 | IN | 105 |
| 10 Uvolnění testovací stanice OK kusem | 4 | IN | 105 |
| 11 Kontrola procesu při výrobě prvního kusu | 1–4 | IN | 515 |
| - kontrola zašroubování filtru | 1 | – | 50 |
| - kontrola vytištěného identifikačního štítku | 1 | – | 10 |
| 12 Vypsání uvolňovacího listu | – | IN | 150 |
| - základní informace o zakázce | – | – | – |
| - vychystání materiálu | – | – | – |
| - nastavení výrobní linky | – | – | – |
| - kontrola procesu při výrobě prvního kusu | – | – | – |

²³ Part Number = číslo součásti či celého výrobku.

²⁴ Work Order = číslo zakázky.

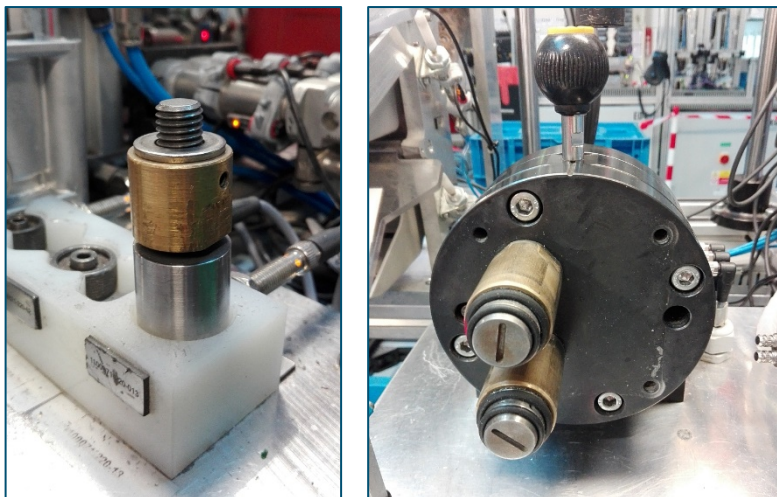
²⁵ Nepravý testovací kus.

6.5.1 Doporučení ke zlepšení

Na základě předchozích dvou fází metodiky SMED zpracovaných v tabulce a sledování daných procesů probíhajících na výrobní lince byly vytvořeny následující doporučení ke zlepšení. Většina všech prováděných činností byla označena za interní, a to z důvodu, že se nedají provádět externě mimo výrobní linku za současné výroby předešlé varianty, která musí být pro tyto úkony dokončena. Za externí činnost byl poté označen odvoz hotové výroby a vychystání materiálu s její kontrolou, jež již za současné či následující výroby provádět lze. Úkon vychystání by měli provádět skladníci, kteří nejsou výrobou na lince nijak ovlivněni a následně přehození přepravných boxů s materiálem je možno provádět při například běžícím závěrečném testu posledního vyráběného kusu. Naopak odvoz hotové výroby může provést předák až po přestavení, kdy už může operátor vyrábět novou variantu.

Zajištěním těchto úkonů tak lze zkrátit dobu přestavování i o několik minut. Neméně důležitá je také koordinace operátora a předáka. Pokud je totiž předák přítomen při přestavování výroby, operátoři mají tendenci nechávat vše na něm, čímž tento neefektivní čas prodlužují stejnou měrou. Co se týče vylepšení interních procesů, připadají v úvahu následující možnosti:

- Při nastavování zakázek (skenování WO a PN) se nabízí možnosti skenovat pouze jeden ze dvou čárových kódů – WO, na který by bylo možno přes jednoduchý databázový systém navázat i číslo PN. Výsledná úspora času by nebyla tolik přínosná, ale celé nastavování by šlo skloubit s následujícím bodem.
- V případě uvolňování výroby (vypisování PN vychystaného materiálu) by připadalo v úvahu zrušení papírové verze za současného převedení do podoby elektronické, která by umožňovala skenování čárových kódů PN vstupního materiálu – namísto ručního opisování číselných kódů.
- Hlavním nežádoucím prvkem jsou v rámci SMED šroubové spoje. Příkladem je výměnný přípravek na testovací stanici č. 1 (Obr. 6.11 vpravo). Použití klasických rychloupínačů je zde znemožněno otáčivým pohybem celku, avšak při důkladnější rozboru by jistě šlo najít rychlejší řešení, které však nebylo předmětem této práce.
- V případě výměnného těsnění čtvrtého ovládacího prvku na stanici č. 2 (Obr. 6.11 vlevo) přichází v úvahu jeho nahrazení lineárním pneumotorem s programovým odlišením pro jednotlivé varianty výrobku na základě načteného PN (ušetření 50 s). Tato konstrukční úprava je zpracována v rámci automatizace montážní stanice.



Obr. 6.11 Výměnné přípravky na stanicích 1 a 4

6.6 Určení problémů a úzkých míst

Z předešlého rozboru současného stavu montážní linky (viz 6.3 Grafické zobrazení současného stavu a 6.4 MOST studie) lze vyzorovat několik méně, či více závažných nálezů, které jsou nežádoucí a negativně ovlivňují celkovou produkci i efektivitu daného pracoviště.

Přítomnost úzkých míst lze vyzorovat z nevhodného rozložení jednotlivých stanic vyobrazeného na výstupním grafu balančního diagramu (viz 6.3.2 Balance chart), který znázorňuje časovou nevyváženost daného technologického procesu. Nad časovou linií montážních stanic zde jednoznačně vystupují stanice testovací, jmenovitě č. 2 sloužící k testování i nastavování ovládacích komponent a stanice č. 4 určená k finálnímu testu a balení. Díky této skutečnosti představují pro výrobní linku úzká místa, způsobují omezení produkce, vyšší rozpracovanost a znemožňují hladký průběh výroby. Zejména tedy stanice č.2, která svou časovou spotřebou až dvojnásobně převyšuje stanice montážní a díky nutnosti nastavování a lepení ovládacích komponent během testování způsobuje nežádoucí přecházení operátorů a diskontinuální výrobu.

Dále lze porovnáním celkových časů potřebných k výrobě jednoho kusu přijít na odchylky mezi reálnými a teoretickými hodnotami získanými ze studií MOST a Balance chart. Pro lepší názornost byly tyto hodnoty převedeny do následující tabulky 6.11, kde rozdíl činní přibližně 30 s. Z logiky věci dále vyplývá, že teoretická spotřeba znázorňující 100% efektivitu bude dosahovat vždy nižších hodnot. Avšak při bližším porovnání se v případě stanice č.2 rozdíly výrazně liší a vzniká tu největší negativní odchylka oproti stanicím ostatním i hodnotě teoretické. Zde se rozdíly pohybují v rámci 5 s, což je vzhledem k charakteru výrobní linky adekvátní a lze konstatovat, že stanice č. 1, 3 i 4 plně korespondují se zpracovanou studií. Nicméně z rozdílnosti druhé stanice, která činní přibližně 18 s, je jasně znatelná přítomnost neshody, či problému, při kterém operátor během montáže časově ztrácí. Každá vteřina navíc představuje pro výrobu nežádoucí plýtvání, které by mělo být eliminováno.

Tab. 6.11 Porovnání reálných a teoretických spotřeb časů

| Úsek | Reálná spotřeba času | Teoretická spotřeba času |
|------------------|----------------------|--------------------------|
| | [s] | |
| Stanice č. 1 | 58 | 56,16 |
| Stanice č. 2 | 166 | 148,68 |
| Stanice č. 3 | 79 | 74,88 |
| Stanice č. 4 | 126 | 122,40 |
| Celková spotřeba | 429 | 402,12 |

Dalším problémem vznikajícím při výrobním procesu představuje již několikrát zmíněné velké množství přecházení, které musí operátoři absolvovat, a které je způsobeno nutností nastavovat a lepit ovládací komponenty během testování na stanici č. 2. Na tuto skutečnost poukazují Spaghetti diagramy (viz 6.1.3 Grafické zobrazení). Zejména tedy varianta první zaměřující se na montáž jedním operátorem. V ideálním případě vyrobí pracovník jeden kus na jedno kontinuální projití výrobní linky, což by dalo při současných rozměrech přibližně 7,5 m. Oproti tomuto stavu jsou však nyní operátoři nuceni ujít přibližně 25 m, během kterých začínají pracovat na dalších dvou výrobcích a výrobní linku prochází celkem $3 \times$. Tyto kroky i metry navíc se sebou nesou interní čas procesu, který se dále promítá do celkové produkce a současně mohou z vyšší rozpracovanosti pramenit možnosti potenciálního vzniku chyb.

Poslední vyskytující se problém představují poměrně velké vzdálenosti mezi jednotlivými stanicemi i větší rozptyl vstupního materiálu. Jak lze vidět ze studie MOST, u některých parametrů „A“ (akce na určitou vzdálenost) se při přechodech dle diagramů vyskytují indexy s číslem 6, které jsou již nežádoucí a znamenají 3–4 kroky (Obr. 6.12). Nežádoucí přecházení (vzdálenosti) mezi stanicemi). Obecně je při pohybu výrobní linkou zapotřebí, aby se vše nacházelo na dosah operátora a nebylo zapotřebí zbytečných kroků. Vyjádřeno indexy parametru „A“ metody MOST se jedná o hodnoty 0, 1 nebo maximálně číslo 3, které představuje 1–2 kroky při přechodu mezi stanicemi (vzdálenost do 1 m). Co se rozptylu materiálu týče, nachází se některé přepravní boxy, případně tuby obsahující vstupní materiál nadmíru daleko od místa výkonu operace. Pracovníci jsou tak nuceni dělat úkroky, případně se pro potřebné komponenty přespráti natahovat.

Celkově lze celý rozbor zkoumané výrobní linky shrnout do několika následujících nálezů, které je zapotřebí v rámci další optimalizace eliminovat:

- nevhodně vybalancované stanice (zejména díky testům),
- přítomnost úzkých míst na testovacích stanicích č. 4 a především č. 2,
- velké množství přecházení operátorů,
- špatná ergonomie výrobní linky – nevhodné umístění některých vstupních materiálů a dlouhé vzdálenosti mezi stanicemi.

| | | A | B | G | A | B | P | A | | | |
|----|---|---|---|---|---|----|---|---|---|-----|-------|
| 1 | Vložení těla do přípravku na stanici č.1 | 6 | 0 | 1 | 3 | 0 | 3 | 0 | 1 | 130 | 4,68 |
| 28 | Nastavování tlaku na ovládacím prvku | 6 | 0 | 0 | 1 | 54 | 1 | 0 | 1 | 620 | 22,32 |
| 69 | Umístění výrobku do bedny s hotovými kusy | 0 | 0 | 0 | 6 | 0 | 1 | 0 | 1 | 70 | 2,52 |

Obr. 6.12 Nežádoucí přecházení (vzdálenosti) mezi stanicemi

6.7 Návrhy na zvýšení efektivity

Z přecházejícího rozboru a zjištěných úzkých míst, případně dalších nalezených problémů vyplývají následující návrhy, jež mají za cíl zvýšení efektivity i zlepšení stavu aktuální výrobní linky. Stěžejním bodem je úprava montážních kroků (nastavování a lepení ovládacích prvků) na testovací stanici č. 2, se kterou souvisí úzké místo i většina ostatních nálezů. Cenové odhady zpracované v následující tabulce (Tab. 6.12) byly učiněny na základě přibližného součtu cen komponent potřebných k realizaci a procentuální zvýšení efektivity z časů, které uskutečněné řešení v procesu ušetří.

Z toho porovnání byly dále vybrány dvě následující varianty. Nejprve automatizace testovací stanice č. 2, která představuje výsledné řešení pro kýžené navýšení výstupní efektivity. Současně odstraňuje nežádoucí plýtvání (zásoby, čekání a pohyby viz 4 Popis základních LEAN metod) a je v rámci práce řešena primárně. Druhým doplňujícím řešením byla následně zvolena úprava ergonomie dané výrobní linky, která již efektivitě takřka neprospěje, ale eliminuje jeden z posledních nálezů (viz 6.6 Určení problémů a úzkých míst) a přispěje zejména k lepším pracovním podmínkám pro operátory.

Tab. 6.12 Navrhovaná řešení a jejich porovnání

| Navrhovaná řešení | Zvýšení efektivity | Cenový odhad |
|---------------------------------------|--------------------|--------------|
| | [%] | [Kč] |
| Automatizace nastavovacího procesu | 38 | 156 000 |
| Automatizace lepícího procesu | 4 | 253 000 |
| Automatizace stanice č. 2 | 42 | 308 000 |
| Manipulační zařízení | 42 | 602 000 |
| Umístění druhé testovací stanice č. 2 | 15 | 452 000 |
| Úprava ergonomie linky | 1 | 92 000 |

Hlavními důvody pro výběr byly krom údajů uvedených v tabulce také jisté nevýhody pramenící z ostatních variant. V případě realizace pouze jednoho z procesů (nastavování, lepení), které operátoři provádí na testovací stanici, by nebylo dosaženo žádaného efektu. Samotná automatizace nastavovacího procesu sice poskytuje dostatečnou efektivitu a eliminuje hlavní část nadbytečného přecházení operátorů, ale z hlediska konstrukce a potřebného zakrytování pohyblivých prvků neposkytuje prostor pro ruční zalepení. Opakem je na druhou stranu aplikace automatického nanášení lepidla, jenž tento potřebný prostor pro ruční nastavování ovládacích prvků poskytuje. Avšak z časového hlediska se jedná pouze o nepatrné snížení doprovázené poměrně vysokými pořizovacími náklady (zejména dávkovací ventily). Nehledě na to, že neodstraňuje jedno z hlavních plýtvání v podobě nadbytečného přecházení operátorů s nutností pracovního vytížení na stanici.

Z těchto důvodů bylo přistoupeno ke kompletní automatizaci obou ručně vykonávaných procesů, která díky eliminaci přecházení a časových zdržení vznikajících ručním nastavením, poskytuje až nečekaně velké navýšení efektivity. Pro řešení připadaly v úvahu dvě varianty. Varianta s manipulačním zařízením, kterým je myšlena obsluha všech tří možných nastavovaných prvků jedním dávkovacím ventilem a jedním rotačním (šroubovacím) uzlem. Výhodu tohoto řešení reprezentuje světlost nastavovacího prostoru s lepší možností vizuální

kontroly. Z hlediska zástavbových prostor by však vyvstala nutnost rozšíření daného stolu a výrazně vyšší náklady na pořízení pojezdů pro obsluhu všech tří pozic jedním uzlem, složitost konstrukce i programování byly hlavními důvody proti. Současně by také vznikl problém s přesností ustavení šroubovacího zařízení na nastavovací šroub, jenž má velmi malé rozměry a přesné nastavování ve všech třech osách by se oproti statickému řešení (viz 6.7.1) výrazně prodražilo. V potaz připadala také možnost umístění dodatečné testovací stanice pro eliminaci úzkého místa i řešení problémů s prostoji, která však neřeší problém s přecházením a nutností ručního nastavování, nýbrž tento problém jen zhoršuje.

6.7.1 Automatizace montážních kroků na testovací stanici č. 2

Na základě výše popsaných vlastností jednotlivých řešení byla zvolena možnost využívající k nastavování i lepení tři samostatné automatizované uzly, jenž eliminuje téměř všechny nežádoucí jevy (6.6 Určení problémů a úzkých míst) a poskytuje kýžené navýšení efektivity.

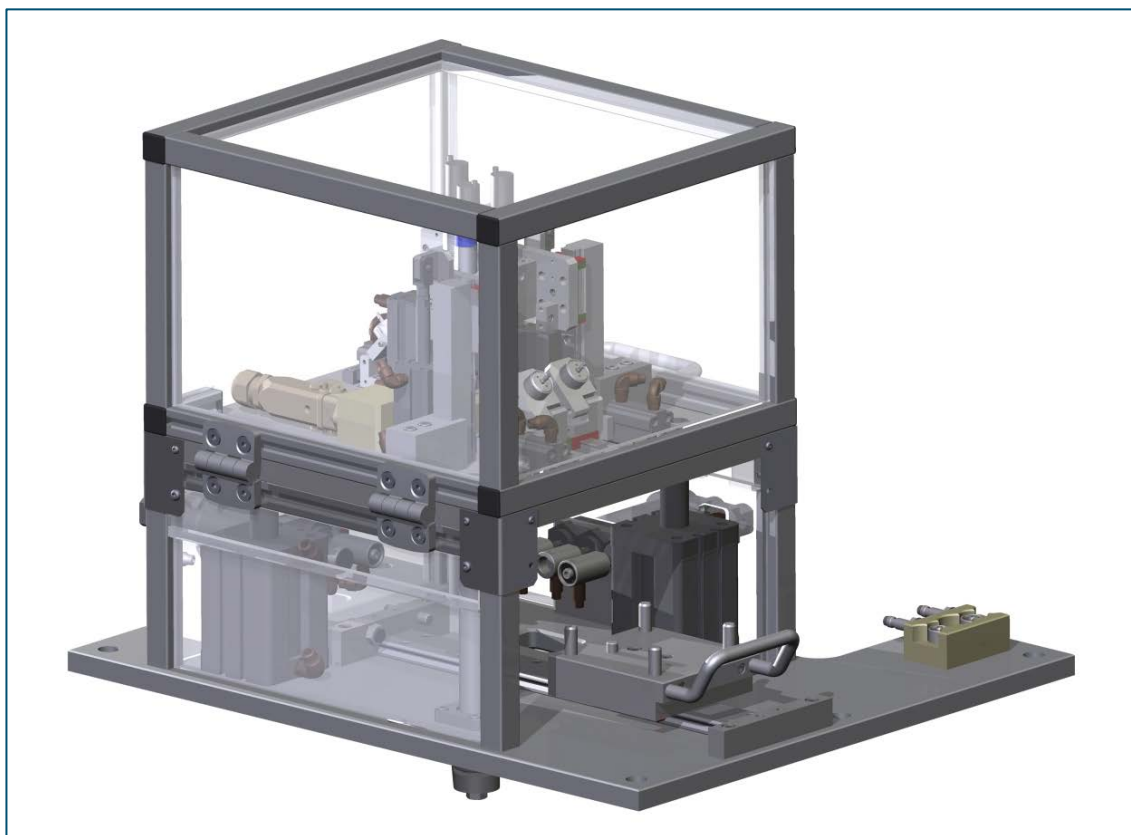
K automatizaci bylo přistoupeno zejména díky nutnosti snížení procesního času středního testu, nutnosti eliminace úzkého místa a uvolnění operátorů pro jinou práci. Z praktických zkušeností působí zavedení automatických řešení vždy spíše časové prodloužení procesu (oproti ručnímu vykonávání), avšak v tomhle případě tomu tak není. Operátoři nastavují výstupní tlak na ovládacích prvcích standardně na $3 \times$. Je to dáno nebezpečím promáčknutí pružinové soustavy onoho proporcionálního ventilu, kdy při působení větší síly dojde k rozkmitání soustavy a následnému kolísání hodnot, což zapříčiňuje prodloužení procesu. Další časovou ztrátu tvoří ustavování šroubováku na nastavovací šroub velmi malých rozměrů a nastavování výstupního tlaku odhadem. Operátor nemá přesnou představu o tom, o kolik se za jednu otáčku posune výsledný tlak, který je zobrazován barevně odlišeným sloupcem na informačním panelu pracujícím s určitým zpožděním i již zmíněným kolísáním.

Všechny tyto okolnosti představují nežádoucí čas, který zaměstnává operátora a lze jej eliminovat právě automatizováním těchto procesů. Dojde k uvolnění operátora pro jinou práci a k odstranění nutnosti se vracet ke druhé stanici (viz 6.3.1 Spaghetti diagram). Pro využití automatizovaného seřizování je zapotřebí zpravidla jen jednoho nastavovacího cyklu (max. 2), což bylo ověřeno na jiném typu výrobku a výrobní lince. Lze jej totiž realizovat na základě zjištělného inkrementu (např. 1 otáčka = 0,2 bar), kdy je možno z rozdílu vstupního a výstupního tlaku určit potřebný počet otáček pro rotační (šroubovací) uzel, který vykoná správné nastavení na jeden pracovní cyklus. Nežádoucí rozkmitání pružinové soustavy se dá řešit pomocí dorazového prvku a nízké rychlosti pohybu šroubováku.

6.7.2 Změna ergonomie výrobní linky

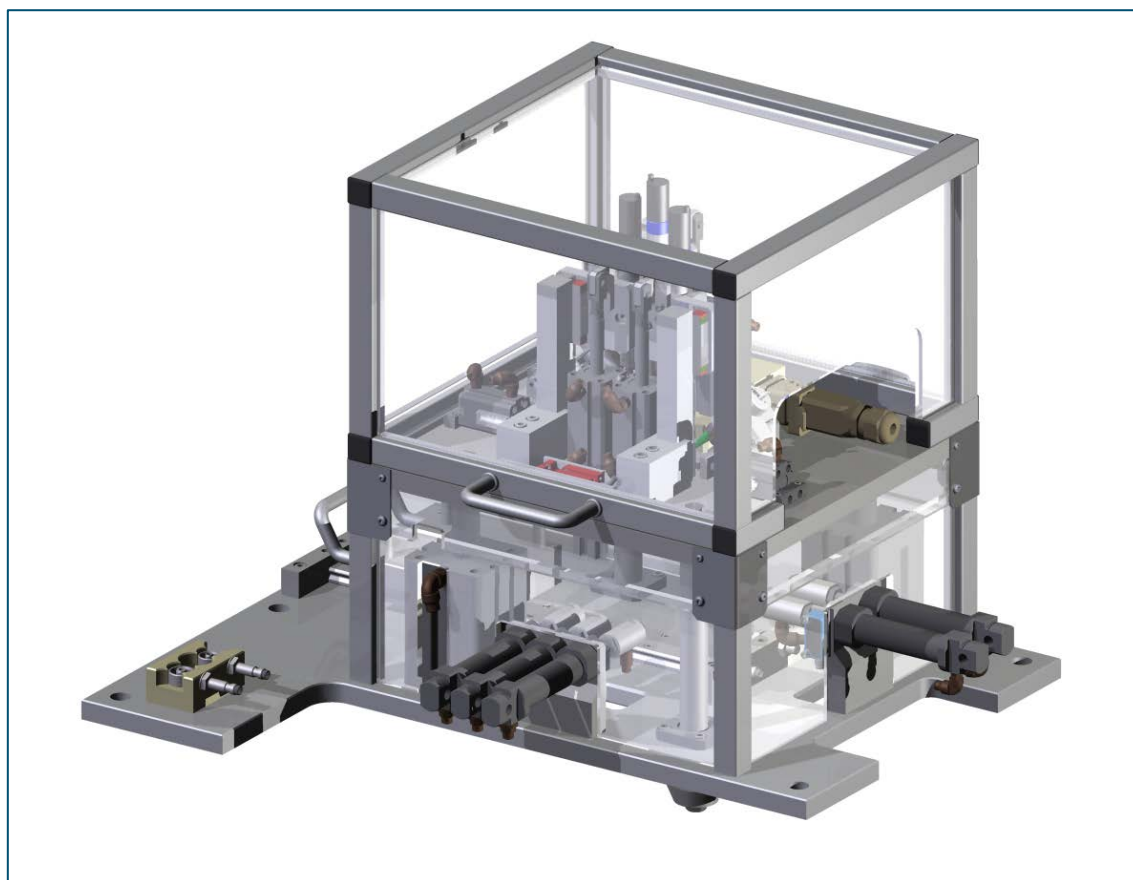
Druhým doporučeným řešením je již zmíněná změna ergonomie výrobní linky. Současný stav totiž není příliš vhodně řešen, jak vyplývá z analýzy (viz 6.6 Určení problémů a úzkých míst). Předmětem této úpravy jsou dlouhé vzdálenosti, kterými dojde ke zmenšení výrobní linky, a tedy i ke snížení vzdáleností mezi stanicemi a celkovému zlepšení pracovních podmínek tak, aby již nebylo zapotřebí úkoků či náklonů při manipulaci s materiálem. Snížení těchto vzdáleností eliminuje jeden z druhů plýtvání. Ušetří se metry, které se sebou nesou čas a který se dále promítne do závěrečného zvýšení efektivity, i když takřka nepodstatným dílem.

Nový návrh testovací stanice (Obr. 7.2, 7.3) funguje na následujícím principu. Ventilový blok podléhající testování je operátorem ustavován stejně jako v původním případě na kolíky posuvného přípravku (viz příloha č. 7). Lineární kluzné vedení však bylo nahrazeno vedením lineárním kuličkovým od společnosti HIWIN, jehož návrhu a kontrole se věnuje kapitola 7.1.4 Návrh lineárního vedení. Pro přesné a opakované nastavení polohy je využito speciálního dorazového šroubu a válcového indukčního snímače $M8 \times 1$, který toto přesné doražení pojezdu detekuje. Stejně jako u stávajícího řešení se upínání a spouštění testování ventilového bloku realizuje přes dvouruční bezpečnostní spínání. Celý tento proces má z hlediska bezpečnosti a správné funkce stanice podmínku v již zmíněném indukčním snímači detekujícím umístění vozíku v pracovním prostoru a v reflexním snímači, který slouží ke snímání přítomnosti ventilového bloku. Teprve v případě kladných hodnot obou signálů je toto upnutí umožněno. Pohyb mají na starost, jako v předchozím případě, dva lineární pneumatory vyráběné ve firmě, jejichž kontrolu na dostatečnou sílu zdvihu obsahuje podkapitola 7.1.2 Kontrola pneumatických lineárních pohonů. Přesnost a stabilita pohybu horní upínací desky se všemi komponenty je následně zaručena díky přidanému vedení v podobě dvou kalených nerezových tyčí s kuličkovými pouzdry ukotvenými v základní desce celé stanice. Při návrhu upínání výrobku bylo pracováno se dvěma variantami, jejichž výhody i nevýhody popisuje podkapitola 7.1.1 Upínání ventilového bloku. Během tohoto upnutí – posunu celé horní soustavy umístěné na upínací desce stolu dojde současně také k připojení elektroniky pro řízení ovládacích prvků přes testovací kontakty. Dráty napájené na pouzdra kontaktů jsou dále vyvedeny pod plastovým krytováním přes univerzální průmyslový konektor Harting k PLC automatu, kterým je v tomto případě SIEMES SIMATIC S7-300 ovládající všechny probíhající procesy.



Obr. 7.2 Nová testovací stanice – přední pohled

Po správném upnutí a kontaktování následuje připojení pneumatického testovacího okruhu za pomoci kruhových lineárních pneumotorů s redukcemi, které jsou přes gumová těsnění dotlačeny na šroubení (fitinky) ventilového bloku. Podrobnější popis připojovacích uzlů popisuje podkapitole 7.1.3 Připojení testovacího okruhu. Celý testovací proces zůstává nezměněn a stejně jako v předchozím případě proběhne první část, která otestuje tlaky v jednotlivých větvích bloku společně s těsností, případně úniky celého systému. Následně postupné ruční nastavování výstupních tlaků bylo nahrazeno nastavováním automatickým, jenž poskytuje oproti ručnímu jisté výhody popsané spolu s principem v podkapitole 6.7.1 Automatizace montážních kroků na stanici č. 2 a 7.2 Nastavování ovládacích prvků. Tyto nastavovací pracovní uzly jsou na horní části upínací desky umístěny tři tak, aby pokryly všechny druhy výrobků s rozdílnými počty ovládacích prvků – proporcionálních ventilů (viz 6 Rozbor aktuálního pracoviště). Po správném seřízení jednotlivých prvků začíná druhá část testovacího procesu, která kontroluje správnost předchozího nastavení a testuje funkčnost proporcionálních ventilů opětovným spínáním a vypínáním. V případě, že vše proběhne v pořádku, následuje zakápnutí daných nastavovacích šroubů tekutým lepidlem z dávkovacího ventilu. Díky automatizaci tohoto procesu lze zalepit všechny nastavované prvky současně, čímž se ušetří několik sekund oproti postupnému ručnímu dávkování. Po nadávkování už následuje pouze odpojení testovacího okruhu s odjetím horní upínací desky. V rámci návrhu konstrukce byla také zvažována možnost zasunutí výrobku do pracovního prostoru přes lineární pneumotor, která by však kromě zvýšení nákladů nepřinesla žádnou časovou úsporu navíc, a proto bylo od její realizace ustoupeno.



Obr. 7.3 Nová testovací stanice – zadní pohled

7.1 Připojení ventilového bloku

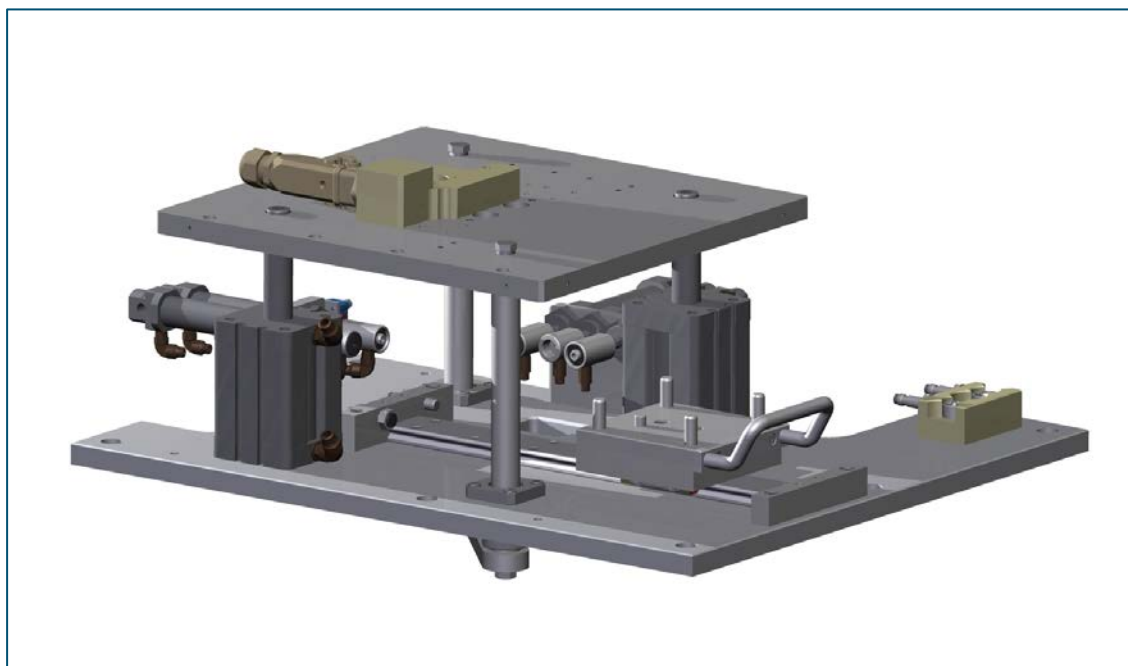
Jak již bylo zmíněno v úvodním popisu funkce, první fáze testu spouštěná bezpečnostním dvouručním spínáním zahrnuje jeho upnutí se současným kontaktováním pro přenos řídicích signálů a připojení testovacího pneumatického okruhu.

7.1.1 Upínání ventilového bloku

Během návrhu upínání ventilového bloku byly zvažovány dvě konstrukční varianty, které poskytovaly kromě samotného upevnění pozice výrobku také kontaktování ovládacích prvků. Jednou z možných řešení byla varianta původní, jež zahrnuje horní pohyblivou desku a tedy působení upínací síly směrem dolů oproti pevnému základu celé testovací stanice. Konstrukční řešení tohoto typu skýtá výhodu zejména v menších momentech, které působí boční síly pneumotorů připojujících testovací okruh. Druhé uvažované řešení pracovalo s pevně ukotvenou horní deskou a pneumatickým upínáním zespod ventilového bloku oproti ní. Z hlediska výhod se tato varianta zdála z počátku jako vhodnější. Bylo tomu tak zejména díky možnosti většího rozšíření pevné horní desky, což by poskytovalo větší prostor pro umístění nastavovacích uzlů a jejich statickou polohu. Ostatní základní výhody a nevýhody zobrazuje tabulka 7.1.

Tab. 7.1 Základní vlastnosti variant upínání

| Varianta | Výhody | Nevýhody |
|----------------|---|--|
| Horní upínání | Menší zatížení (momenty) Lepší možnosti údržby | Pohyb nastavovacích uzlů s horní deskou a její menší rozměry |
| Spodní upínání | Lepší možnosti krytování Větší rozměry horní desky Statická poloh nastavovacích uzlů | Vyšší zatížení (momenty) |



Obr. 7.4 Základní konstrukce s připojovacími uzly

I přes nesporné výhody plynoucí z varinty tvořené spodním pneumatickým upínáním a horní pevně ukotvenou deskou bylo rozhodnuto pro řešení vycházející ze současného stavu aplikovaného na výrobní lince. Tato varianta byla zvolena hlavně z důvodu menšího momentového zatížení, které se v případě spodního upínání podstatně zvyšuje díky vzdálenosti ventilového bloku od základní desky a stává se takřka neřešitelným problémem. Celé toto konstrukční řešení je do jisté míry ovlivněno celkovými zástavbovými rozměry stanice, které i přes kompletní předělávku všech prvků neposkytuje potřebný prostor pro dostatečně dimenzované vedení pro možnost spodního upínání.

Co se týče vedení upínací desky, bylo pro zachování její stability, přesnosti a rovnoměrnosti upnutí využito dvou kuličkových pouzder a vodicích tyčí. Konkrétně nerezových indukčně kalených tyčí (WRB), které jsou lícovaně uloženy v horní posuvné desce (více v příloze č. 7) a pohybují se v kompaktních přírubových pouzdrech se čtvercovou přírubou – konkrétně JBK-20AWW od společnosti HIWIN. Lineární pohyb mají na starost již několikrát zmíněné lineární pneumatické pohony, jejichž krajní polohy jsou detekovány magneticky ovládanými spínači (originální příslušenství pneumatiků) v drážkách pro ně uzpůsobených.

Z obrázku základní konstrukce (Obr. 7.4) na předchozí straně lze také detailněji vyzkoušet krytování testovacích kontaktů. Kryt je vyroben z nevodivého polymeru. V levé části má vytvořeno navýšení pro přišroubení zástrčky univerzálního průmyslového konetroru firmy Harting pro snadné odpojení v případě potřeby údržby či jiných akcí. Samotné uložení testovacích kontaktů v horní upínací desce zobrazuje níže uvedený obrázek (Obr. 7.5 a)). Celý systém uložení poskytuje snadnou výměnu poškozených či opotřebovaných kontaktů (GKS-912 217 175 N 2205 firmy INGUN), které jsou zasouvány do protikusů – pouzder KS 112 23 – pevně nalisovaných do nevodivých polymerových nákrůžků (více v příloze č. 7).

Přesnou polohu posuvného přípravku v pracovním prostoru sprostředková již zmíněný dorazový šroub (GN 251-M8-30-BK od společnosti Eles+Ganter) a indukční snímač M8 × 1 (BES00CK společnosti Balluff). Jedná se o speciálně upravený šestihranný šroub s dosedací polyuretanovou plochou – NBR 90 (Obr. 7.5 b)) pro tlumení a ochranu daného válcového indukčního snímače před možným poškozením [49].



Obr. 7.5 a) Uložené testovacích kontaktů, b) Dorazový šroub [49]

7.1.2 Kontrola pneumatických lineárních pohonů

V rámci snahy zachovat některé prvky původní stanice bylo při návrhu využito dvou původních pneumatik RA/192050/MX/60 vyráběných společností IMI Precision Engineering. Vzhledem k navýšení zátěže od horního sklopného krytování a komponent nastavovacích uzlů bylo zapotřebí provést kontrolu dimenzování lineárních pneumatik – zda jsou schopny poskytnout dostatečnou sílu nutnou k vysunutí. Hmotnosti horní upínací desky, sklopného krytování i nastavovacích uzlů byly při prvních fázích návrhu upínání určeny odhadem a poté upřesněny a zaokrouhleny na základě hmotností generovaných softwarem Autodesk Inventor, ve kterém probíhalo zpracování 3D modelu a hmotností nakupovaných komponent od výrobců.

Při dimenzování lineárních pneumatik napříč celou závěrečnou klasifikační prací bylo vycházeno z metodiky firmy FESTO a znalostí nabytých absolvováním předmětu Hydraulické a pneumatické mechanismy. Při návrhu, či kontrole pneumatiky je nutno, krom síly zátěžné (19) – tíhová síla od přesouváných komponent), počítat se silami třecími (21) a dynamickými (20). Co se součinitele zohledňujícího dynamickou sílu týče, lze z něj vypočítat sílu dynamickou jako v následujícím případě, případně jím vynásobit sílu zátěžnou a dosáhne se stejného efektu. Třecí síly pohyblivých částí válce se následně určují jako přibližně 3–20 % síly jmenovité při vysouvání (vyšší než při zasouvání) a v následujících výpočtech je vycházeno ze střední hodnoty (10 %).

Znamé parametry

| | |
|--|---|
| Hmotnost upínací desky: | $m_{ud} = 11,5 \text{ kg}$ |
| Hmotnost nastavovacího uzlu: | $m_{nu} = 1,8 \text{ kg}$ |
| Hmotnost lepícího uzlu: | $m_{lu} = 1,2 \text{ kg}$ |
| Hmotnost krytování: | $m_{kr} = 4 \text{ kg}$ |
| Hmotnost ostatních prvků: | $m_{op} = 4,5 \text{ kg}$ |
| Součinitel zohledňující dynamickou sílu: | $k_d = 1,5$ |
| Průměr pístu pneumatiky pro upnutí: | $D_1 = 50 \text{ mm [50]}$ |
| Tlak v rozvodech: | $p_r = 6 \text{ bar} = 0,6 \text{ MPa}$ |

Kontrola síly potřebné k vysunutí pístu

Plocha pracovní části pístu ($\varnothing 50 \text{ mm}$) při vysouvání:

$$S_{p1v} = \frac{\pi \cdot D_1^2}{4} = \frac{\pi \cdot 50^2}{4} = 1\,963,5 \text{ mm}^2 \quad (17)$$

Jmenovitá síla pneumatiky ($\varnothing 50 \text{ mm}$) při vysouvání:

$$F_{j1v} = p_r \cdot S_{p1v} = 0,6 \cdot 1\,963,5 = 1\,178,1 \text{ N} \quad (18)$$

Zátěžná síla:

$$F_{z1} = (m_{ud} + 3 \cdot m_{nu} + 3 \cdot m_{lu} + m_{kr} + m_{op}) \cdot g$$
$$F_{z1} = (11,5 + 3 \cdot 1,8 + 3 \cdot 1,2 + 4 + 4,5) \cdot 9,81 = 284,49 \text{ N} \quad (19)$$

Dynamická síla:

$$F_{d1} = F_{z1} \cdot (k_d - 1) = 284,49 \cdot (1,5 - 1) = 142,25 \text{ N} \quad (20)$$

Třecí síla pohyblivých částí válce:

$$F_{t1} = 0,1 \cdot F_{j1v} = 0,1 \cdot 1\,178,1 = 117,81 \text{ N} \quad (21)$$

Síla nutná pro vysunutí pístu:

$$F_{v1} = F_{z1} + F_{t1} + F_{d1} = (284,49 + 142,25 + 117,81) = 544,55 \text{ N} \quad (22)$$

Porovnání výsledných sil:

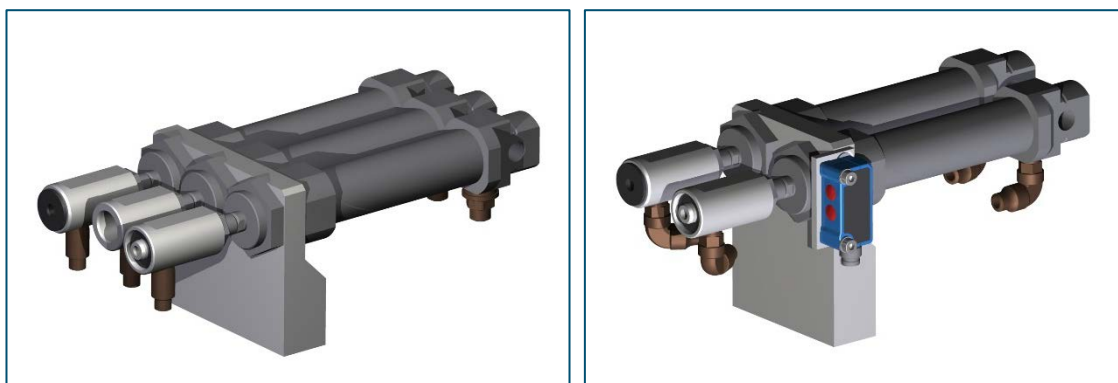
$$F_{v1} < 2 \cdot F_{j1v}$$

$$544,55 < 2 \cdot 1\,178,1 \Rightarrow 544,55 < 2\,356,2 \Rightarrow \text{vyhovuje} \quad (23)$$

Původní lineární pneumatické pohony o průměru 50 mm lze tedy na základě předchozích výsledků i následného porovnání (23) využít a jejich výsuvná síla dále poskytuje dostatečnou rezervu pro další případné úpravy. Na základě tohoto ustanovení se při návrhu počítalo s pneumaty téhož typu, avšak během konstrukce byla zjištěna možnost snížení zdvihu o 10 mm (na výsledných 50 mm). Při zvážení všech výhod i nevýhod, jako například možnost kompletace stanice bez nutnosti odstavení aktuálního řešení, bylo rozhodnuto pro koupi nových válců s označením RA/192050/MX/50 [50].

7.1.3 Připojení testovacího okruhu

K připojení testovacího pneumatického okruhu dochází pomocí pěti kruhových lineárních jednočinných pneumotorů RM/28020/M/35 [52] vyráběných společností, které mají průměr pístu 20 mm a délku zdvihu 35 mm. Přes tyto motory jsou na vstupní a výstupní pneumatická šroubení (fitinky) ventilového bloku dotlačeny kovové redukce – tvarově upraveny na jednotlivé varianty šroubení. Přes tyto redukce je do ventilového bloku přiváděn tlakový vzduch a těsnění pneumatického média spočívá ve vysekávaných těsnících kroužcích z materiálu NBR 70 (více viz příloha č. 7). Pneumotory jsou přes vlastní závit a matici upevněny na přírubách (Obr. 7.6 a)), jejichž původní přišroubování k základní desce bylo upraveno připojením dvou kolíků pro zajištění lepší přesnosti spojení. Střední připojovací uzel je dále osazen již zmíněným reflexním snímačem firmy Wenglor pro snímání přítomnosti ventilového bloku na posuvném přípravku (Obr. 7.6 b)).



Obr. 7.6 Konstrukční uzly pro připojení testovacího okruhu – a) pravý, b) střední

7.1.4 Návrh lineárního vedení

Původní lineární kluzné vedení, které sloužilo pro přísuv posuvného přípravku s ventilovým blokem do pracovního prostoru stanice, bylo nahrazeno vedením lineárním kuličkovým. Stalo se tak především z důvodu zajištění vyšší přesnosti, které je zapotřebí kvůli automatizaci ručního nastavování ovládacích prvků ventilového bloku a také pro zajištění vyšší životnosti celého posuvného uzlu. Při návrhu lineárního vozíku bylo vycházeno ze sortimentu firmy HIWIN, se kterou má společnost již bohaté zkušenosti. Následující dimenzování lineárního vedení vycházelo ze silového působení (Obr. 7.7 a 7.8) vznikajícího připojením ventilového bloku a z podkladů výrobce lineárních vedení [51]. Ramena byla určena z modelu vypracovaného v Autodesk Inventor 2013.

Znamé parametry

| | |
|---|--|
| Průměr pístu pneumotoru pro upnutí: | $D_1 = 50 \text{ mm}$ [50] |
| Průměr pístnice pneumotoru pro upnutí: | $d_1 = 20 \text{ mm}$ [50] |
| Průměr pístu pneumotoru pro připojení okruhu: | $D_2 = 20 \text{ mm}$ [52] |
| Bezpečnostní faktor: | $f = 3 \dots$ pro normální zatížení [51] |
| Rameno síly F_x : | $a = 44 \text{ mm}$ |
| Rameno síly F_y : | $b = 55,8 \text{ mm}$ |
| Tlak v rozvodech: | $p_r = 6 \text{ bar} = 0,6 \text{ MPa}$ |

Výpočet požadovaných hodnot zatížení

Plocha pracovní části pístu ($\varnothing 50 \text{ mm}$) při zasouvání:

$$S_{p1z} = \frac{\pi \cdot (D_1^2 - d_1^2)}{4} = \frac{\pi \cdot (50^2 - 20^2)}{4} = 1\,649,34 \text{ mm}^2 \quad (24)$$

Jmenovitá síla pneumotoru ($\varnothing 50 \text{ mm}$) při zasouvání:

$$F_{j1z} = p_r \cdot S_{p1z} = 0,6 \cdot 1\,649,34 = 989,6 \text{ N} \quad (25)$$

Upínací síla:

$$F_{up} = 2 \cdot F_{j1z} = 2 \cdot 989,6 = 1\,979,2 \text{ N} \quad (26)$$

Plocha pracovní části pístu ($\varnothing 20 \text{ mm}$) při vysouvání:

$$S_{p2v} = \frac{\pi \cdot D_2^2}{4} = \frac{\pi \cdot 20^2}{4} = 314,16 \text{ mm}^2 \quad (27)$$

Jmenovitá síla pneumotoru ($\varnothing 20 \text{ mm}$) při vysouvání:

$$F_{j2v} = p_r \cdot S_{p2v} = 0,6 \cdot 314,16 = 188,5 \text{ N} \quad (28)$$

Síla od připojení pneumatického okruhu ve směru x:

$$F_x = 3 \cdot F_{j2v} = 3 \cdot 188,5 = 565,5 \text{ N} \quad (29)$$

Síla od připojení pneumatického okruhu ve směru y:

$$F_y = 2 \cdot F_{j2v} = 2 \cdot 188,5 = 377 \text{ N} \quad (30)$$

Požadovaná hodnota dovoleného momentu ve směru osy Y:

$$M_{yp} = F_x \cdot a \cdot f = 565,5 \cdot 44 \cdot 3 = 74,65 \text{ Nm} \quad (31)$$

Požadovaná hodnota dovoleného momentu ve směru osy X:

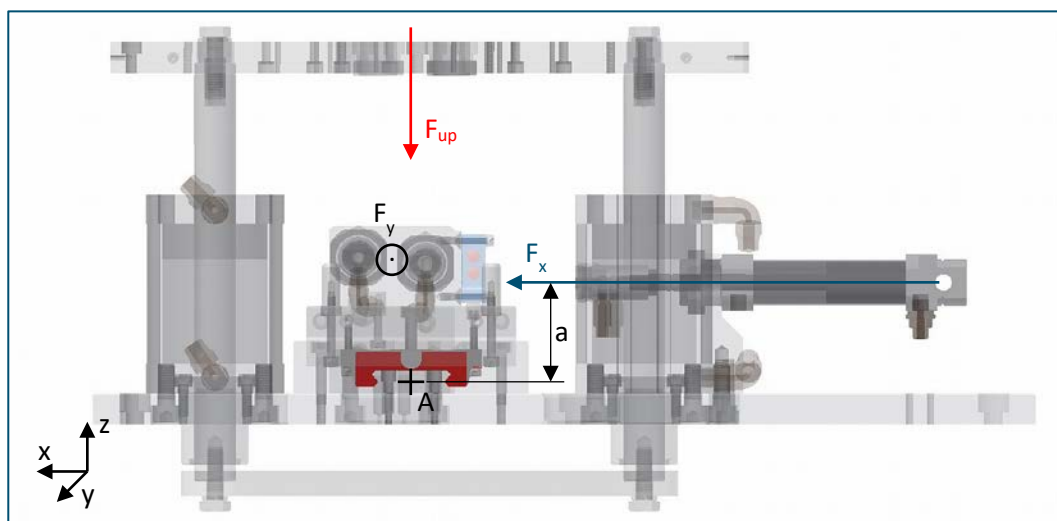
$$M_{xp} = F_y \cdot b \cdot f = 377 \cdot 55,8 \cdot 3 = 63,12 \text{ Nm} \quad (32)$$

Požadovaná statická únosnost vozíku:

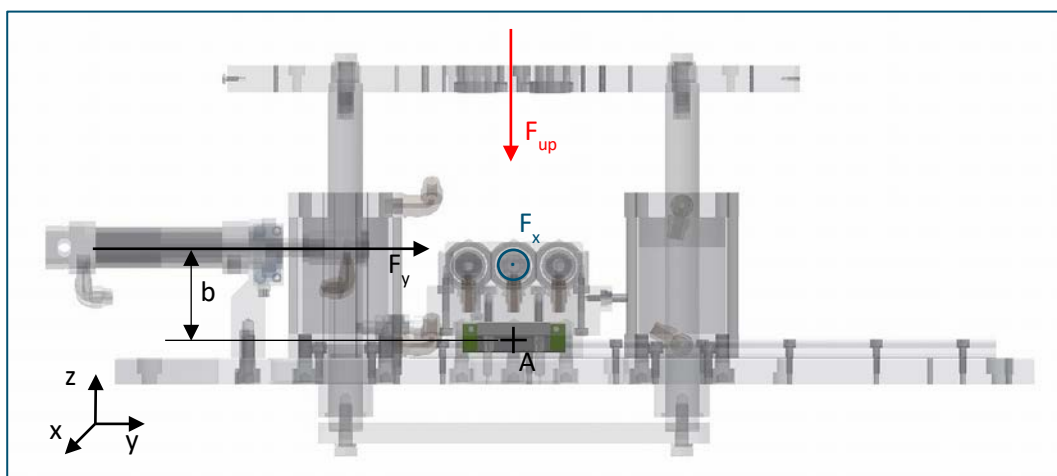
$$C_{sp} = F_{up} \cdot 3 = 5937,6 \text{ N} \quad (33)$$

S momentovým zatížením působícím ve směru osy Z nebylo při návrhu počítáno, protože se jeho hodnoty od sil působících ve směru osy X vzájemně vyruší a samotné zatížení od sil působících ve směru osy Y je oproti ostatním momentům zanedbatelné. Síly působící ve směrech os X a Y byly dále pro zjednodušení nahrazeny vždy jednou souhrnnou silou.

Následně bylo na základě hodnot požadovaných dovolených momentů (rovnice (31) a (32)) a požadované statické únosnosti vozíku (33) zvoleno lineární kuličkové vedení se čtyřmi oběžnými dráhami WEW 21CC (Obr. 7.9).



Obr. 7.8 Silové působení při upínání – rovina XZ



Obr. 7.7 Silové působení při upínání – rovina YZ

Parametry zvoleného vedení WEW 21CC [51]

Statická únosnost:

$$C_0 = 13\,700 \text{ N}$$

Dovolený statický moment M_y :

$$M_{yd} = 230 \text{ Nm}$$

Dovolený statický moment M_x :

$$M_{xd} = 100 \text{ Nm}$$

Zvolený souřadný systém silového působení je oproti katalogu společnosti HIWIN otočený, proto jsou i hodnoty zapsané výše otočeny oproti obrázku 7.9.

Výpočet skutečné bezpečnosti

Moment působící ve směru osy Y:

$$M_y = F_x \cdot a = 565,50 \cdot 44 = 24,88 \text{ Nm} \quad (34)$$

Moment působící ve směru osy X:

$$M_x = F_y \cdot b = 377 \cdot 55,80 = 21,04 \text{ Nm} \quad (35)$$

Bezpečnostní faktor pro moment v ose X:

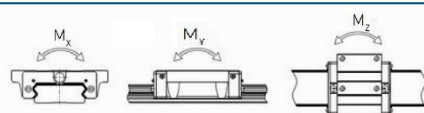
$$f_x = \frac{M_{xd}}{M_x} = \frac{100}{21,04} = 4,76 \quad (36)$$

Bezpečnostní faktor pro moment v ose Y:

$$f_y = \frac{M_{yd}}{M_y} = \frac{230}{24,88} = 9,24 \quad (37)$$

Bezpečnostní faktor pro únosnost vozíku:

$$f_c = \frac{C_0}{F_{up}} = \frac{13\,700}{1979,20} = 6,92 \quad (38)$$



| Typ | Montážní rozměry [mm] | | | Rozměry vozíku [mm] | | | | | | | | | | | | | | Rozměry kolejnic [mm] | | | | | | | | | | | | | | Šrouby pro kolejnice [mm] | Dynamická únosnost C_0 [N] | Statická únosnost C_0 [N] | Statický moment | | | Hmotnost | |
|---------|-----------------------|----------------|------|---------------------|-----|----------------|----|----------------|-------|----------------|----------------|-----|------|------|----------------|----------------|----------------|-----------------------|----------------|----------------|------|-----|-----|----|---|---------------------|---------------------|---------------------|------------|------------------|-----|---------------------------|------------------------------|-----------------------------|-----------------|--|--|----------|--|
| | H | H ₁ | N | W | B | B ₁ | C | L ₁ | L | K ₁ | K ₂ | G | Mx1 | T | T ₁ | H ₂ | H ₃ | W ₀ | W ₀ | H ₀ | D | h | d | P | ε | M _x [Nm] | M _y [Nm] | M _z [Nm] | vozík [kg] | kolejnice [kg/m] | | | | | | | | | |
| WEW17CC | 17 | 2,5 | 13,5 | 60 | 53 | 3,5 | 26 | 35,0 | 50,6 | - | 3,10 | 4,9 | M4 | 5,3 | 6 | 4,0 | 3,0 | 33 | 18 | 9,3 | 7,5 | 5,3 | 4,5 | 40 | * | M4x12 | 5230 | 9640 | 150 | 62 | 62 | 0,13 | 2,2 | | | | | | |
| WEW21CC | 21 | 3,0 | 15,5 | 68 | 60 | 4,0 | 29 | 41,7 | 59,0 | 9,68 | 3,65 | 12 | M5 | 7,3 | 8 | 4,5 | 4,2 | 37 | 22 | 11,0 | 7,5 | 5,3 | 4,5 | 50 | * | M4x12 | 7210 | 13700 | 230 | 100 | 100 | 0,23 | 3,0 | | | | | | |
| WEW27CC | 27 | 4,0 | 19,0 | 80 | 70 | 5,0 | 40 | 51,8 | 72,8 | 14,15 | 3,50 | 12 | M6x6 | 8,0 | 10 | 6,0 | 5,0 | 42 | 24 | 15,0 | 7,5 | 5,3 | 4,5 | 60 | * | M4x16 | 12400 | 21600 | 420 | 170 | 170 | 0,50 | 4,7 | | | | | | |
| WEW35CC | 35 | 4,0 | 25,5 | 120 | 107 | 6,5 | 60 | 77,6 | 104,6 | 18,10 | 5,25 | 12 | M8 | 11,2 | 14 | 8,0 | 6,5 | 49 | 40 | 19,0 | 11,0 | 9,0 | 7,0 | 80 | * | M6x20 | 29800 | 49400 | 1480 | 670 | 670 | 1,35 | 9,7 | | | | | | |

Obr. 7.9 Parametry zvoleného lineárního vedení [51]

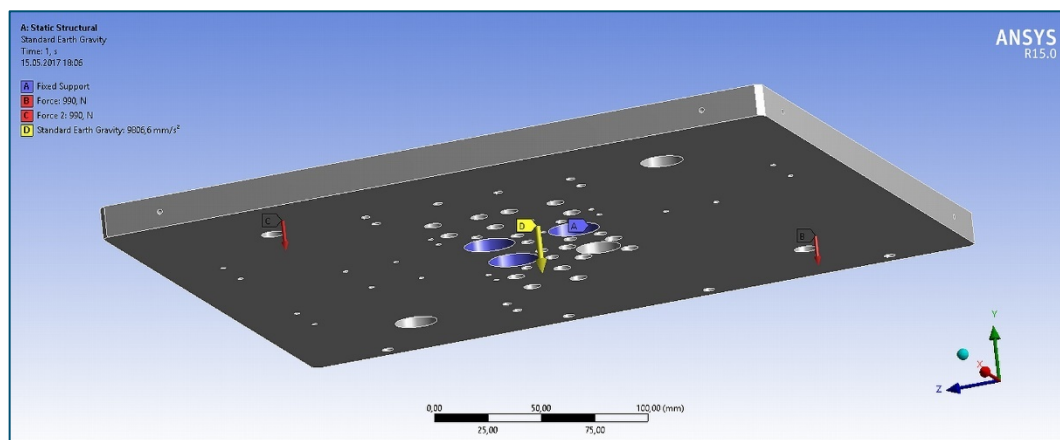
7.1.5 MKP analýza upínací desky

Pro kontrolu a stanovení hodnot napětí, případně deformací kritických míst u navržených konstrukčních uzlů bylo využito analýzy metodou konečných prvků v programovém prostředí ANSYS Workbench. Pro všechny výpočty MKP²⁶ bylo využito již vytvořených 3D modelů a předmětem výpočtů byla vždy nejvíce silově či jinak namáhaná součást jednotlivých uzlů.

V případě upínání a celkového připojení ventilového bloku k testovací stanici přicházely v úvahu tři nejvíce namáhané součásti. První dvě součásti byly příruby pneumatik RM/28020/M/35 využitých pro připojení pneumatického okruhu (viz 7.1.3 Připojení testovacího okruhu). Vzhledem k tomu, že došlo u nových přírub ke snížení výšky oproti původním v řádu několika milimetrů a tím i ke snížení vznikajícího momentového napětí, nebylo analýzy těchto součástí třeba. Původní varianty fungují v provozu již několik let bez pevnostních či deformačních problémů.

Nejdůležitější a pravděpodobně nejnamáhanější součástí celé testovací stanice je bezesporu horní upínací deska. Ta se dle logické úvahy bude vlivem dvou působících sil prohýbat a v místě dotyku s ventilovým blokem bude docházet k největšímu napětí. Na obrázku 7.10 lze pozorovat zvolené okrajové podmínky vycházející ze skutečného zatížení při upnutí ventilového bloku, které bylo simulováno za použití dvou sil nahrazujících pneumatiky. Jmenovitá síla jednotlivých válců byla vypočtena již rovnicí (25). Další zatížení poté představuje gravitační síla působící ve stejném směru jako síly přechozí a tíhové síly od nastavovacích a lepících uzlů umístěných na upínací desce. Síly od komponent umístěných na desce byly zanedbány, a to zejména z důvodu rozličných působišť, které nebylo možno při definici správně umístit. Snaha o nahrazení jednou souhrnnou silou působící v těžišti následně nevedla k žádným rozdílům v napětích a deformacích. Co se týče okrajových podmínek, ventilový blok je při upnutí primárně opřen svou konstrukcí o kruhové otvory, na jejichž pozici dochází k již výše zmíněným automatizovaným procesům. Toto upnutí bylo v rámci analýzy nahrazeno vetknutím daných nastavovacích pozic.

Nastavení síťování, které hraje při metodě konečných prvků velmi důležitou roli lze pozorovat na obrázku na další straně (Obr. 7.11). Pro síť bylo využito prvku „body sizing“²⁷, jenž předepisuje krajní rozměry jednotlivých prvků sítě. Při nastavování tohoto konečného rozměru prvku se vycházelo z konvergence, kdy byla pozorována hodnota napětí a deformace



Obr. 7.10 Volba okrajových podmínek upínací desky

²⁶ MKP = metoda konečných prvků.

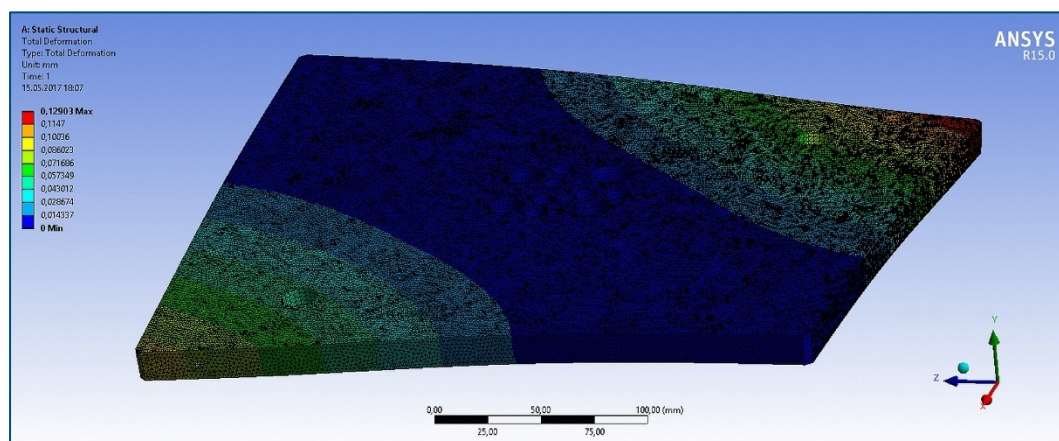
²⁷ Velikost prvku pro celou součást – slouží k nastavení velikost prvku sítě pro celou součást.

při postupném zmenšování velikosti sítě. Výsledné hodnoty prováděné pevnostní analýzy se zastavili na velikosti prvku 2 mm, který byl následně nastaven pro výsledné síťování. Z logické úvahy dále vychází místo koncentrace nejvyššího napětí u vetknutých otvorů, pro které byla síť pro lepší přesnost výsledku ještě zjemněna využitím prvku „mapped face meshing“²⁸.

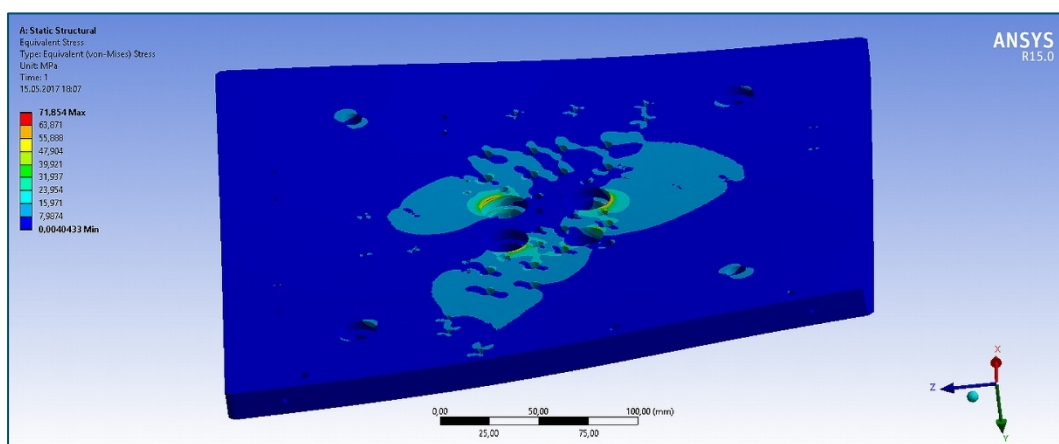
Jako materiál upínací desky byla zvolena ocel vhodná k cementování a nitridování, u níž se po těchto povrchových úpravách dosahuje velmi tvrdého povrchu a velké pevnosti jádra. Ocel má velmi dobré mechanické vlastnosti, její pevnost v tahu R_m dosahuje hodnot 780–850 MPa a mez kluzu R_e min. 550 MPa [53]. Na základě této známé meze kluzu a vypočtené maximální hodnoty ekvivalentního napětí ($\sigma_m = 71,85$ MPa – Obr. 7.12) byl ze vzorce (39) vypočten součinitel bezpečnosti.

$$k_k = \frac{R_e}{\sigma_m} = \frac{550}{71,85} = 7,65 \quad (39)$$

Na základě výpočtu bezpečnostního koeficientu lze konstatovat předdimenzovanost vůči mezi kluzu materiálu. Avšak vzhledem k ne zrovna zanedbatelné deformaci (0,129 mm – Obr. 7.11) a míjivému charakteru zatížení, bylo využito toho materiálu zejména díky vhodnosti pro povrchovou úpravu – plazmovou nitridaci, která zvyšuje únavovou životnost takto upraveného materiálu až o 25 % [54].



Obr. 7.11 Vykreslení nastaveného síťování a deformace upínací desky



Obr. 7.12 Vykreslení napětí upínací desky dle kritéria MMH

²⁸ Mapování ploch – slouží pro nastavení počtu prvků po hraně plochy.

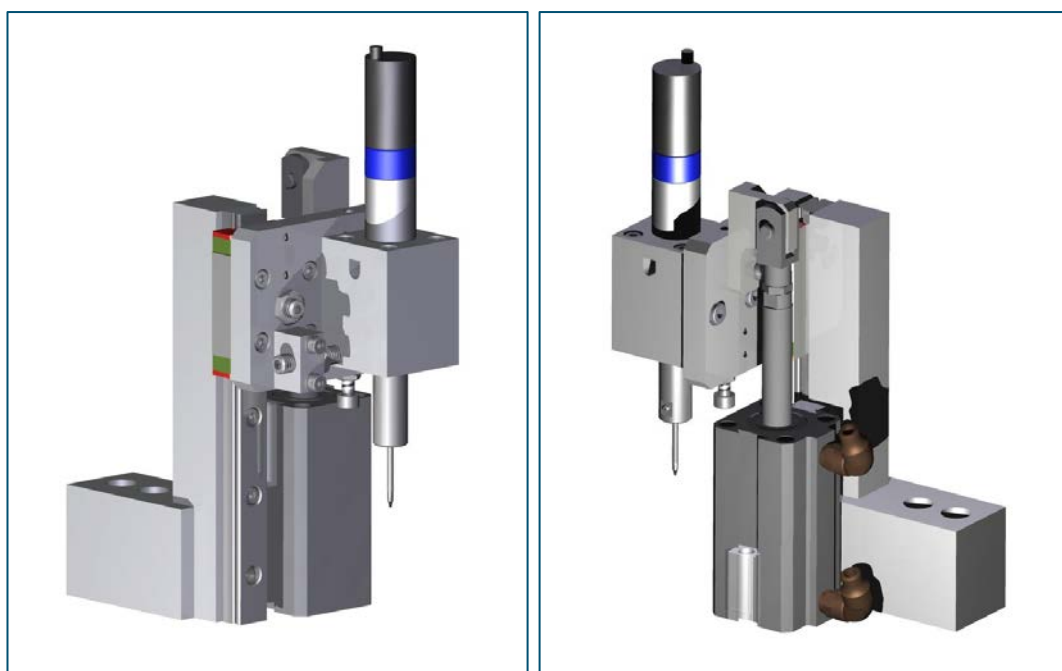
7.2 Nastavování ovládacích prvků

Konstrukční uzel popsáný na následujících stranách této podkapitoly popisuje funkci a návrh automatizovaného nastavování výstupních tlaků ovládacích prvků (proporcionálních ventilů). Důvody a výhody tohoto způsobu seřízení, díky kterým bylo k tomu to řešení přistoupeno jsou popsány již v podkapitole 6.7.1 Automatizace montážních kroků na testovací stanici č. 2.

Přímočarý posuvný pohyb celé nastavovací soustavy má na starost lineární kuličkové vedení (viz 7.2.3 Návrh lineárního vedení) a dvojčinný pneomotor (viz 7.2.2 Návrh pneumatického lineárního pohonu a Obr. 7.13 a) i b)). Kolejnice pro vedení vozíku je umístěna na svislé přírubě, která byla pro zachování kolmosti i přímosti zasunuta s patřičnými tolerancemi do základu a přišroubována pomocí dvou lícovaných šroubů. Celý tento nosný blok je dále připojen k upínací desce přes 2 šrouby s pružnými podložkami, kterých se využívá téměř u všech šroubových spojení celé konstrukce.

Zajištění přesného ustavení šroubováku na nastavovací šroub poskytuje jemné seřízení pomocí protichůdných šroubů se závity s jemným stoupáním, kterého je ho využito pro seřizování polohy šroubováku ve dvou osách. Jedna osa poskytuje nastavování přímo na vozíku lineárního vedení a její rozsah činní ± 1 mm. Stejný rozsah lze následně nastavit v ose druhé – povolením lícovaných šroubů v zadní části ložiskového domku a přestavením do stran ve k tomu uzpůsobených podlouhlých otvorech. Nejedná se zrovna o ideální řešení, avšak vzhledem k nízké periodě tohoto seřizování a konstrukčním rozměrům ventilového bloku, které poskytuje omezené rozměry pro realizaci procesu nebylo možné seřizování provádět jiným způsobem. Zabezpečení správné výšky polohy šroubováku následně zajišťují stejné dorazové šrouby jako u upínání ventilového bloku.

Rotační nastavovací pohyb je realizován stejnosměrných servomotorem s planetovou převodovkou (viz 7.2.1 Rotačního pohonu). Přenesení pohybu na šroubovák má na starost hřídel uložená v kuličkovém ložisku ložiskového domku, do které se ve spodní části vkládá šroubovák (Torx TX4) aretovaný pomocí šroubu a závitu na konci hřídele.



Obr. 7.13 Konstrukční uzel pro nastavování ovládacích prvků – a) přední pohled, b) zadní pohled

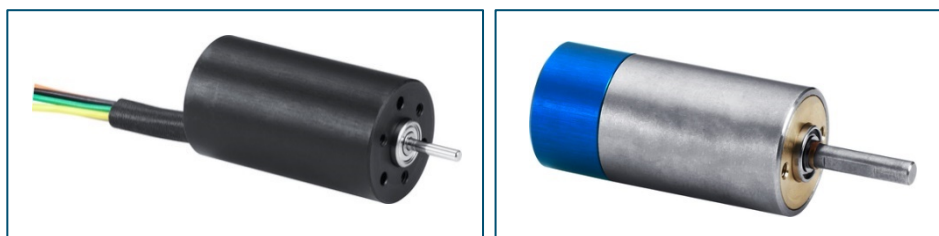
7.2.1 Rotační pohon

Samotný rotační pohyb zajišťuje řízené otáčení šroubováku, kterým se realizuje nastavování výstupního tlaku ovládacího prvku ventilového bloku. Celou tuto aplikaci lze řídit na základně zjistitelného inkrementu (viz 6.7.1 Automatizace montážních kroků na testovací stanici č. 2). Ze samotného nastatování lze totiž zjistit změnu výstupního tlaku na jednu otáčku nastavovacího šroubu ovládacího prvku. Na základě tohoto inkrementu a z porovnání vstupního a výstupního tlaku lze následně určit počet potřebných otáček pro správné nastavení.

Jak již bylo uvedeno, tato aplikace poskytuje korektní seřízení výstupního tlaku na jeden pracovní cyklus a její funkce byla ověřena na jiném typu výrobku i jiné výrobní lince. Díky této skutečnosti byl použitý motor jedním z požadavků společnosti pro návrh této aplikace. Jedná se o bezkartáčový stejnosměrný (elektronicky komutovaný) motor 1628 T 024 B K1155 společnosti Faulhaber, se kterou má firma dlouholeté zkušenosti a jejíž výrobky ve formě miniaturních pohonných technologií aplikuje do většiny podobných řešení. Na základě bezproblémového chodu, odzkoušené funkce, kladné zkušenosti i poskytované dodavatelské podpory a využití stejných prvků ve výrobě je použití tohoto motoru zcela logické.

Kromě výše zmíněných důvodů spočívá výhoda využití BLDC²⁹ motoru také v dlouhé životnosti i vyšší spolehlivosti díky elektronické komutaci a též v momentové charakteristice, která má ve velkém rozsahu otáček téměř lineární točivý moment. Dalším pozitivem jsou zástavbové rozměry motorů tohoto typu, které jsou pravděpodobně nejmenší ve své oblasti (oproti krokovým motorům například). Tyto rozměry hrají podstatně důležitou roli, protože stísněné podmínky umísťovaných ovládacích prvků do těla ventilového bloku neposkytují možnosti pro využití pohonů o větších rozměrech (nebylo by možné fyzické umístění všech tří nastavovacích prvků (viz 7.4 Umístění automatizovaných uzlů a krytování)) [59].

Ke snížení otáček je k motoru přiřazena originální čtyřstupňová planetová převodovka PG 16/7 poskytující redukční poměr 134:1. Motor i převodovka jsou dodávány v již zkompletovaném nerozebíratelném stavu. Servomotor obsahuje 3 digitální Hallovy senzory se 120° fázovým posunem. Tyto senzory nahrazují potřebu využití enkodéru, detekují pozici rotoru a v kombinaci s pohybovým regulátorem (driver) poskytují základní komutační signál. Elektronická komutace je tedy zajišťována přes připojený driver MCDC 3006 S, který poskytuje PWM³⁰ ve čtyřech kvadrantech na rozhraní CAN³¹ a sériový port RS232 pro řízení motoru a vyhodnocení elektronické komutace přes LabVieW či jinou nadřazenou řídicí jednotku [59].



Obr. 7.14 a) Stejnosměrný motor série 1628...B [59], b) Planetová převodovka série 16/7 [59]

²⁹ Brushless Direct Current = bezkartáčový stejnosměrný.

³⁰ Pulse Width Modulation = pulzně šířková modulace.

³¹ Controller Area Network = sběrnice.

7.2.2 Návrh pneumatického lineárního pohonu

Dimenzování lineárního pneumatického pohonu nastavovacího uzlu bylo vztaženo k potřebné síle pro vysunutí se zátěžnou (tíhovou) silou (40) od komponent, které při pohybu zvedá.

Hmotnosti jednotlivých komponent byly v první fázi konstrukce určeny odhadem a poté upřesněny a zaokrouhleny na základě hmotností generovaných softwarem i hmotností nakupovaných prvků (zejména hmotnost vozíku po volbě její varianty na následující straně). Hmotnost obráběných ostatních komponent byly následně lehce navýšeny z důvodu možné budoucí úpravy, zahrnující umístění UV³² snímače pro kontrolu množství naneseného lepidla (více viz 7.3 Lepení (aretace) ovládacích prvků).

Známé parametry

| | |
|--|---|
| Hmotnost servomotoru: | $m_{sm} = 0,03 \text{ kg}$ |
| Hmotnost planetové převodovky: | $m_{pp} = 0,03 \text{ kg}$ |
| Hmotnost lineárního vozíku: | $m_{lv} = 0,05 \text{ kg}$ |
| Hmotnost obráběných komponent: | $m_{ok} = 0,45 \text{ kg}$ |
| Hmotnost ostatních prvků: | $m_{op} = 0,20 \text{ kg}$ |
| Součinitel zohledňující dynamickou sílu: | $k_d = 1,5$ |
| Tlak v rozvodech: | $p_r = 6 \text{ bar} = 0,6 \text{ MPa}$ |

Dimenzování (návrh) lineárního pneumotoru

Zátěžná síla:

$$F_{z2} = (m_{sm} + m_{pp} + m_{lv} + m_{ok} + m_{op}) \cdot g$$

$$F_{z2} = (0,03 + 0,03 + 0,05 + 0,40 + 0,20) \cdot 9,81 = 7,46 \text{ N} \quad (40)$$

Požadovaná plocha pracovní části pístu:

$$S_p = \frac{F_{z2} \cdot k_d}{p_r} = \frac{7,46 \cdot 1,5}{0,6} = 18,65 \text{ mm}^2 \quad (41)$$

Požadovaný průměr pístu:

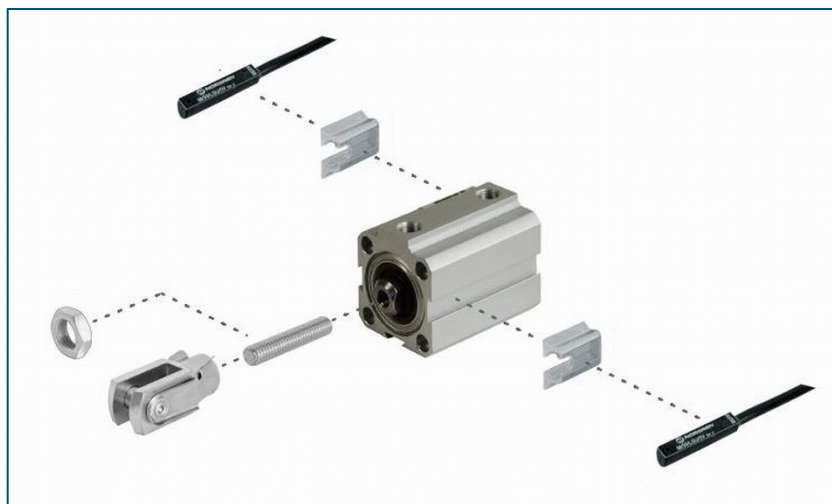
$$D_p = \sqrt{\frac{4 \cdot S_{p3n}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 18,65}{\pi}} = 4,87 \text{ mm} \quad (42)$$

Výše uvedený návrh průměr pneumotoru nezahrnuje valivý odpor lineárního valivého vedení, protože vozík není zatížen žádnou kolmou (normálovou) silou.

Na základě rovnice (42), která určuje potřebný průměr pístu lineárního pneumotoru by stačila nejmenší možná vyráběná varianta kompaktních válců RM/92012 s průměrem pístu 12 mm. Avšak na základě malých konstrukčních rozměrů válce tohoto typu, který způsoboval problémy z hlediska připojení k pojezdovému mechanismu a zejména díky nedostačujícímu zdvihu poskytovanému tímto typem válce bylo rozhodnuto pro pneumotor o větším průměru [55]. Kruhové válce umožňující větší zdvihy nelze použít z hlediska zástavbových rozměrů.

³² Ultrafialové záření.

Pro aplikaci byl tedy volen lineární pneumatický pohon RM/92020/M/40 o průměru pístu 20 mm s pracovním zdvihem 40 mm. K větším rozměrům válce bylo přistoupeno také z důvodu potřeby umístění dvou magnetických spínačů pro detekci koncových poloh, což není z hlediska malých konstrukčních rozměrů (zejména zdvihu) válců o průměru 12 mm zcela optimální (magnetické spínače se na takto malém prostoru vzájemně ruší). Ostatní připojovací komponenty dodávané jako příslušenství spolu s uložením magnetickým spínačů znázorňuje schéma na následujících obrázku (Obr. 7.15) [55].



Obr. 7.15 Schéma komponent zvoleného válce [55]

7.2.3 Návrh lineárního vedení

Při návrhu lineárního vozíku se vycházelo stejně jako v přechodím případě ze sortimentu firmy HIWIN, ze silového působení (Obr. 7.16 a) i b)) vznikajícího od lineárního pneumatického pohonu, tíhové síly a z podkladů výrobce lineárních vedení [51]. Působíště síly pneumotoru bylo odměřeno ze zpracovaného modelu, stejně tak jako působíště tíhové síly umístěné v těžišti komponent přišroubovaných na lineárním vozíku.

Vedení tohoto typu bylo zvoleno zejména díky přesnosti, kterou poskytuje a která je nutná pro přesné ustavené šroubováku na nastavovací šroub. Dalším stěžejní faktorem byly následně poskytované velmi malé zástavbové rozměry, jež jsou velmi důležité pro tísněné prostředí celé stanice.

Znamé parametry

| | |
|---|--|
| Průměr pístu pneumotoru pro nastavování: | $D_2 = 20 \text{ mm}$ [55] |
| Průměr pístnice pneumotoru pro nastavování: | $d_2 = 10 \text{ mm}$ [55] |
| Bezpečnostní faktor: | $f = 3 \dots$ pro normální zatížení [51] |
| Rameno síly F_{G1} : | $c = 22,43 \text{ mm}$ |
| Rameno síly F_{jv2} : | $d = 9,5 \text{ mm}$ |
| Rameno síly F_{G1} : | $e = 24,21 \text{ mm}$ |
| Rameno síly F_{j2v} : | $h = 32 \text{ mm}$ |
| Tlak v rozvodech: | $p_r = 6 \text{ bar} = 0,6 \text{ MPa}$ |

Výpočet požadovaných hodnot zatížení

Jmenovitá síla lineárního pneumotoru ($\varnothing 20$ mm) při vysouvání byla vypočtena již rovnicí (28) a hmotnosti jednotlivých komponent umístěných na vozíku lineárního vedení je uvedena již v podkapitole 7.2.2 Návrh pneumatického lineárního pohonu.

Tíhová síla komponent na lineárním vozíku:

$$F_{G1} = (m_{sm} + m_{pp} + m_{ok} + m_{op}) \cdot g$$

$$F_{G1} = (0,03 + 0,03 + 0,45 + 0,20) \cdot 9,81 = 6,97 \text{ N} \quad (43)$$

Požadovaná hodnota dovoleného momentu ve směru osy Y:

$$M_{yp} = ((F_{j2v} \cdot h) - (F_{G1} \cdot e)) \cdot f = ((188,50 \cdot 32) - (6,97 \cdot 24,21)) \cdot 3 = 17,59 \text{ Nm} \quad (44)$$

Požadovaná hodnota dovoleného momentu ve směru osy X:

$$M_{xp} = ((F_{j2v} \cdot d) + (F_{G1} \cdot c)) \cdot f = ((188,50 \cdot 9,5) + (6,97 \cdot 22,43)) \cdot 3 = 5,84 \text{ Nm} \quad (45)$$

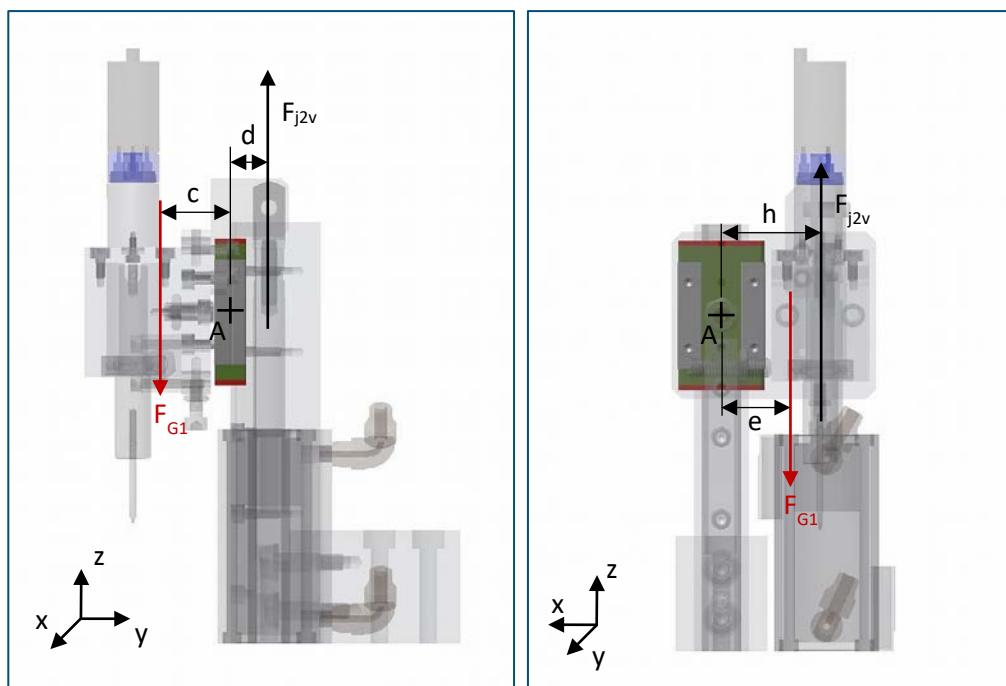
Statická únosnost vozíku není při tomto silovém zatížení určujícím parametrem a nebyla počítána stejně jako moment ve směru osy Z, kde nepůsobí žádné silové zatížení.

Následně bylo zvoleno lineární kuličkové vedení tak, aby odpovídalo požadovaným dovoleným momentům (rovnice (44) a (45)). Vozíky rozsahově odpovídající těmto parametrům patří do sortimentu miniaturních vedení. Avšak vedení odpovídající těmto požadovaným hodnotám neposkytovalo dostatečné zástavbové a připojovací rozměry. Na základě těchto skutečností tedy bylo zvoleno vedení MGN 12H (Obr. 7.17) [51].

Parametry zvoleného vedení MGN 12H [51]

Dovolený statický moment M_y : $M_{yd} = 36,27 \text{ Nm}$

Dovolený statický moment M_x : $M_{xd} = 38,22 \text{ Nm}$



Obr. 7.16 Silové působení při nastavování ovl. prvků – a) rovina YZ, b) rovina XZ

Výpočet skutečné bezpečnosti

Moment působící ve směru osy Y:

$$M_y = ((F_{j2v} \cdot h) - (F_{G1} \cdot e)) = ((188,50 \cdot 32) - (6,97 \cdot 24,21)) = 5,86 \text{ Nm} \quad (46)$$

Moment působící ve směru osy X:

$$M_x = ((F_{j2v} \cdot d) + (F_{G1} \cdot c)) = ((188,50 \cdot 9,5) + (6,97 \cdot 22,43)) = 1,95 \text{ Nm} \quad (47)$$

Bezpečnostní faktor pro moment v ose X:

$$f_x = \frac{M_{xd}}{M_x} = \frac{38,22}{1,95} = 19,6 \quad (48)$$

Bezpečnostní faktor pro moment v ose Y:

$$f_y = \frac{M_{yd}}{M_y} = \frac{36,27}{5,86} = 6,18 \quad (49)$$

Z výsledných bezpečnostních faktorů lze pozorovat lehké předimenzování vůči momentu působícímu v osy Y, které však není způsobeno špatným návrhem lineárního vedení, nýbrž nutností volby většího vozíku z důvodu připojovacích rozměrů. Nutno podotknout, že je lineární vedení dimenzováno pro nejvyšší možné zatížení, které však bude při výsledné funkci sníženo využitím redukčního ventilu pro snížení tlaku a rychlosti příjezdu šroubováku na nastavovací šroub tak, aby nedocházelo k rozkmitání pružinové soustavy ovládacího prvku (více viz 6.7.1 Automatizace montážních kroků na testovací stanici č. 2).

| Typ | Montážní rozměry [mm] | Rozměry vozíků [mm] | | | | | | | | | | | | Rozměry kolejnic [mm] | | | | | | | | | | Šířka pro kolejnice [mm] | Dynamická únosnost C_p [N] | Statická únosnost C_0 [N] | Statický moment | | | Hmotnost | |
|---------|-----------------------|---------------------|-----|----|----|-----|----|------|------|---|-------|----------|-----|-----------------------|-----|-----|-----|-----|----|---|------|------------|------------|--------------------------|------------------------------|-----------------------------|-----------------|--------|------------------|----------|--|
| | | H | H1 | N | W | B | B1 | C | L1 | L | G | Gn | MxL | H2 | WR | HR | D | h | d | P | E | M_x [Nm] | M_y [Nm] | | | | M_z [Nm] | veštlg | kolejnice [kg/m] | | |
| MGN 12C | 13 | 3,0 | 7,5 | 27 | 20 | 3,5 | 15 | 21,7 | 34,7 | - | ø 2,0 | M3 x 3,5 | 2,5 | 12 | 8,0 | 6,0 | 4,5 | 3,5 | 25 | * | M3x8 | 2900 | 4000 | 25,48 | 13,72 | 13,72 | 34,000 | 0,65 | | | |
| MGN 12H | | | | | | | 20 | 32,4 | 45,4 | | | | | | | | | | | | | 3800 | 6000 | 38,22 | 36,26 | 36,26 | 54,000 | | | | |

Obr. 7.17 Parametry zvoleného lineárního vedení [51]

7.2.4 MKP analýza kritického prvku

Jako kritické a nejnamáhanější místo konstrukce nastavovacího uzlu byla dle silového působení určena redukce sloužící k připojení lineárního pneumotoru ke zbytku komponent. Po importu modelu součásti bylo nastaveno síťování (Obr 7.18), které stejně jako v případě upínací desky vycházelo z konvergence hodnot napětí ku velikosti prvku. Výsledná hodnota ekvivalentního napětí dle kritéria HMH³³ se zastavila při velikosti prvku sítě 0,5 mm za využití funkce „body sizing“ se zjemněním ploch pomocí mapování.

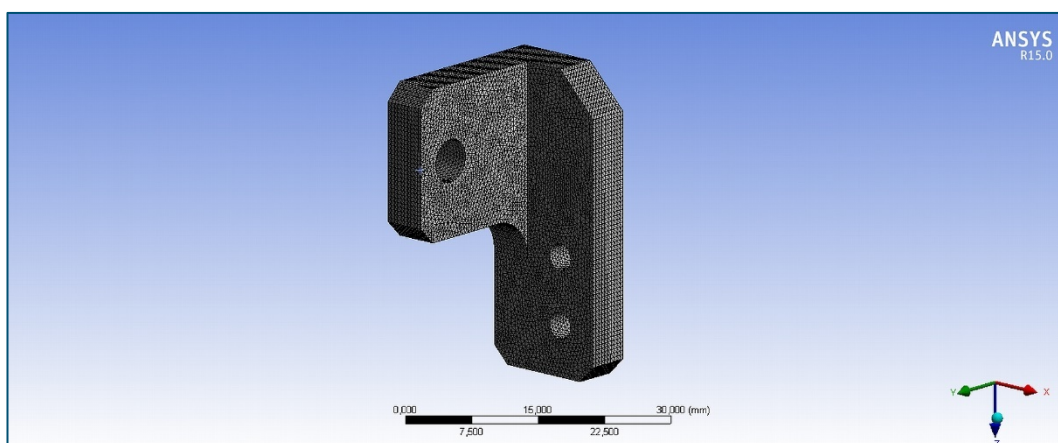
Jedinou zvolenou okrajovou podmínku představuje vetknutí otvorů (Obr. 7.19) simulující šroubové připojení redukce k navazující součásti. Co se týče zatížení silového, je výsuvná síla odlehčována pohybem navázaných komponent na vozíku. V horní poloze poté působí pouze tíhová síla těchto komponent, která je oproti síle působící na redukci ve spodní poloze zanedbatelná a při pevnostní analýze se tedy vycházelo ze síly při zasouvání pístu (51).

Plocha pracovní části pístu (Ø20 mm) při zasouvání:

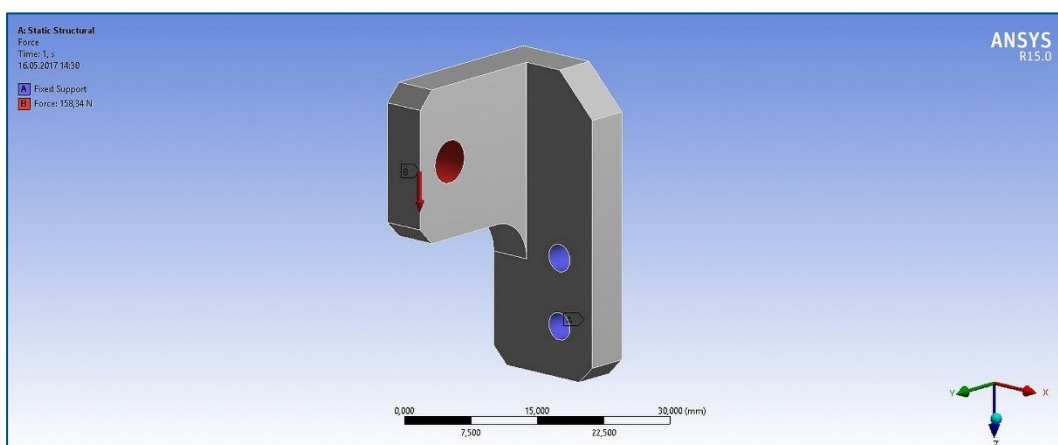
$$S_{p2z} = \frac{\pi \cdot (D_2^2 - d_2^2)}{4} = \frac{\pi \cdot (20^2 - 10^2)}{4} = 263,89 \text{ mm}^2 \quad (50)$$

Jmenovitá síla pneumotoru (Ø20 mm) při zasouvání:

$$F_{j2z} = p_r \cdot S_{p2z} = 0,6 \cdot 263,89 = 158,34 \text{ N} \quad (51)$$



Obr. 7.18 Nastavení síťování redukce pro připojení válce



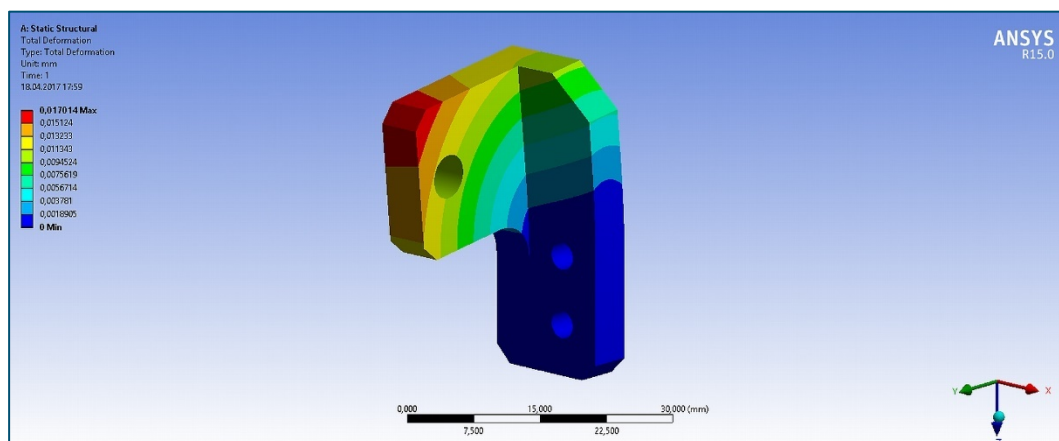
Obr. 7.19 Volba okrajových podmínek redukce

³³ Huber-Mises-Henky – podmínka plasticity pro výpočet ekvivalentního napětí. Název dle vynálezce.

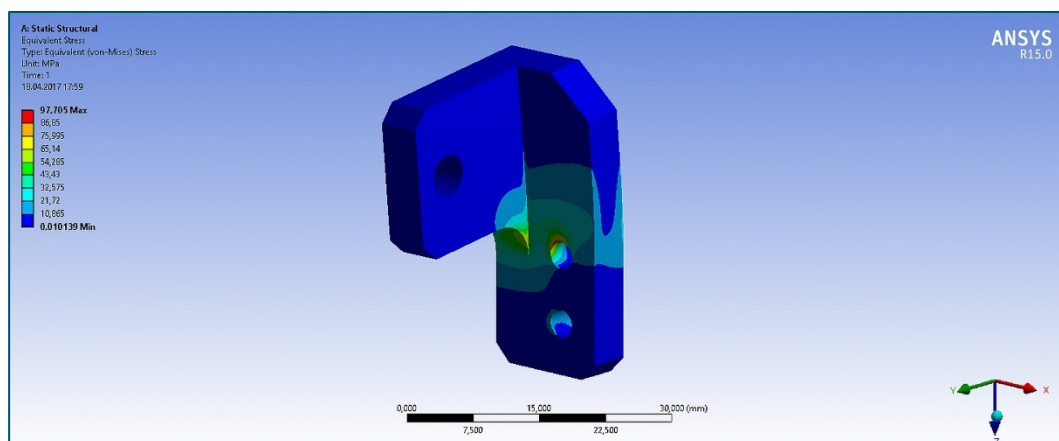
Výsledný průběh ekvivalentního napětí napříč součásti a jeho maximální hodnotu, která dosahuje čísla 97,71 MPa, lze pozorovat na obrázku 7.21. Jako materiál analyzované redukce byla zvolena konstrukční ocel 11 700, která je vhodná pro větší nestřídavá napětí a strojní součásti, u nichž je požadována větší odolnost proti namáhání. Ocel není vhodná ke svařování a pro zabezpečení větší korozivzdornosti materiálu u ní byla předepsána povrchová úprava zinkováním. Mez pevnosti v tahu (R_m) této oceli se pohybuje v rozmezí 685–835 MPa s minimální mezí kluzu (R_e) 345 MPa [53]. Na základě této známé meze kluzu a vypočtené maximální hodnoty ekvivalentního napětí byl ze vzorce (52) vypočten součinitel bezpečnosti.

$$k_k = \frac{R_e}{\sigma_m} = \frac{345}{97,71} = 3,53 \quad (52)$$

Z vypočteného bezpečnostního koeficientu vůči mezi kluzu materiálu lze konstatovat téměř optimální dimenzování, kterému předcházela optimalizace konstrukce využitím přechodového rádiusu. Výsledná velmi nízká deformace (Obr. 7.20) dosahující hodnoty 0,017 mm je pro funkci součásti taktéž naprosto vyhovující.



Obr. 7.20 Vykreslení celkové deformace redukce



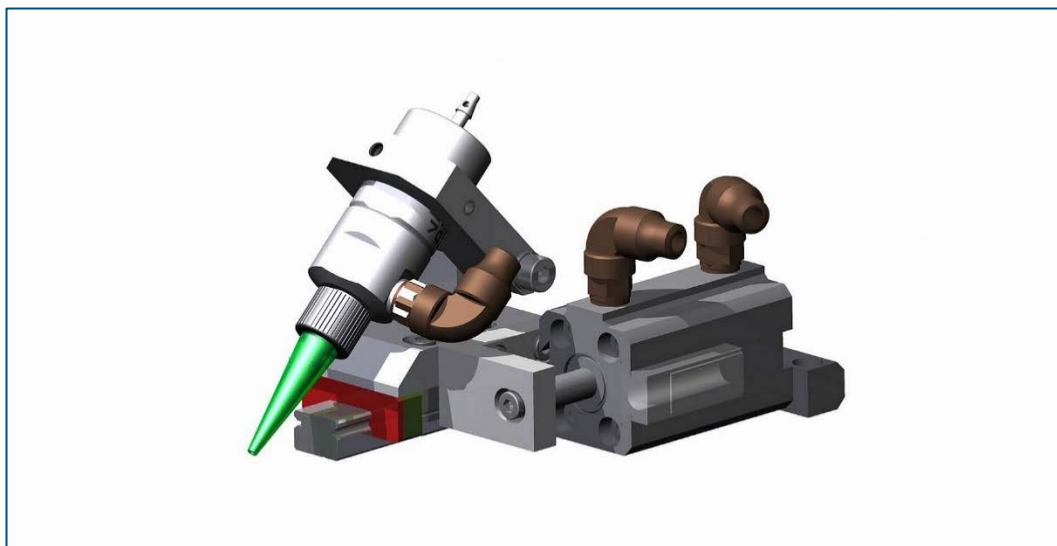
Obr. 7.21 Vykreslení napětí na redukci dle kritéria HMH

7.3 Lepení (aretace) ovládacích prvků

Posledním konstrukčním uzlem umístěným na testovací stanici (vyjma krytování) je níže popsaná sestava sloužící k lepení (aretaci) nastavovacího šroubu ovládacích prvků (Obr. 7.22). Přímočarý posuvný pohyb celého lepícího uzlu zajišťuje stejně jako v přechozích případech lineární kuličkové vedení (viz 7.3.3 Návrh lineárního vedení) a lineární dvojčinný pneumotor (viz 7.3.2 Návrh pneumatického lineárního pohonu).

Pojezdová kolejnice je i s pneumatickým válcem napevno našroubována do upínací desky. Pro uchycení pneumotoru bylo využito speciální upevňovací nožky a koncovou polohu snímá k tomu určený magnetický spínač opatřený plastovým krytem, který je plně kompatibilní s pneumatorem a dodávaný jako originální příslušenství. Pneumatická šroubení jsou následně zvolena na základě připojovacích závitů, spotřeby vzduchu pneumotoru udávané katalogem i praktických zkušeností – pro průměry pístu do 20 mm bez požadavku na vyšší rychlost pohybu pístu se běžně využívají pneumatické hadice s vnějším průměrem 4 mm.

Lineární pneumotor je následně k vozíku připojen přes redukci, jejíž pevnostní analýzou se zabývá podkapitola 7.3.4 MKP analýza kritického prvku. Příruba vozíku i redukce obsahují podlouhlé otvory, které umožňují přesné seřízení vozíku s membránovým dávkovacím ventilem na nastavovací šroub s prohlubní pro lepidlo. Přesné ustavení i polohování zajištěné lineárním vedením a dorazovým šroubem je důležité proto, aby nedocházelo k vytečení či zakápnutí lepidla mimo určenou pozici. Takováto neshoda by vedla ke špatné funkci ovládacího prvku i následným reklamacím ze stran zákazníků. Výškové stavění dávkovací trysky se následně realizuje za pomoci kloubového spojení zajišťovaného šrouby, v jehož horní části je membránový ventil uložen.



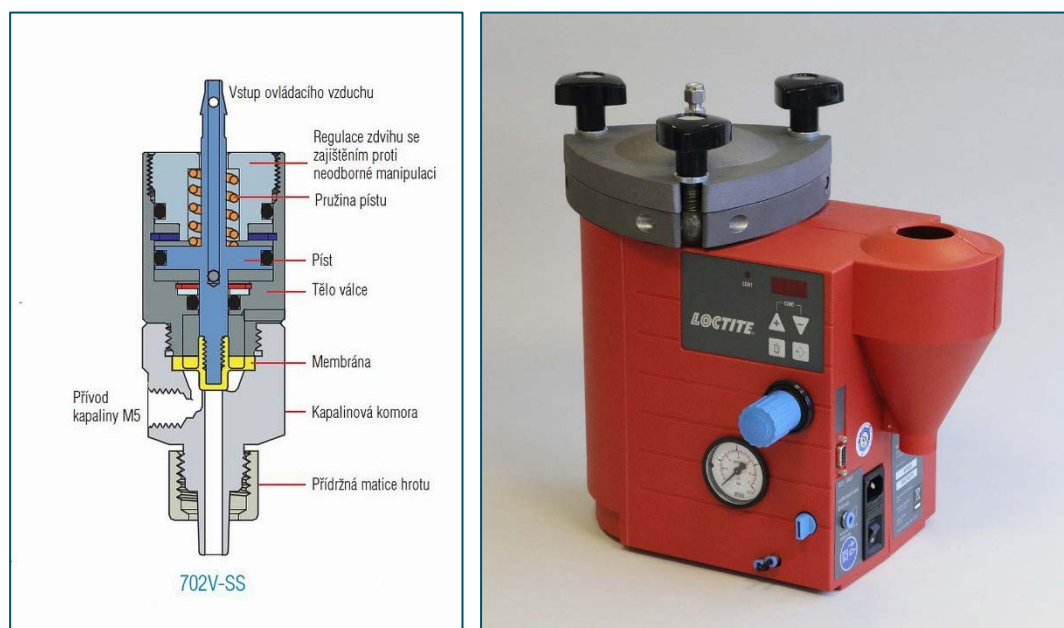
Obr. 7.22 Konstrukční uzel pro lepení (aretaci) ovládacích prvků

7.3.1 Dávkování lepidla

Nanášení aretačního média – tekutého lepidla je v tomto případě realizováno membránovým ventilem. Jedná se o standardní běžně využívané řešení pro konzistentní nanášení nízko a středně viskózních tekutin (UV a světlem vytvrzovaná lepidla, pryskyřice atp.). V drtivé většině procesů automatického nanášení lepidla se ve firmě využívá membránových ventilů 752V, které však svými zástavbovými rozměry nevyhovovaly malému prostoru testovací stanice.

Při hledání vhodných způsobů řešení vzniklého problému byly nalezeny membránové ventily řady 702 s o 60 % menší a 70 % lehčí konstrukcí (dle výrobce), vhodné pro aplikace ve stísněných prostorách. Na základě jejich funkce (stejná jako 752V) a konzultace s představiteli firmy Nordson EFD bylo rozhodnuto pro jejich využití. Hlavní funkční část dávkovacího ventilu představuje polymerová membrána izolující kapalinu od ovládacího válce ventilu. Na základě vstupu ovládacího vzduchu je píst přestavován do horní polohy, čím se sebou vychyluje membránu a umožňuje vtok lepicího media do dávkovací jehly. Dávkované množství následně závisí na době otevření ventilu, tlaku kapaliny, její viskozitě, velikosti hrotu a nastaveném zdvihu (viz Obr. 7.23 a)) [56].

Pro přísun kapaliny do dávkovacího ventilu bylo využito poloautomatického dávkovače s integrovaným zásobníkem (Obr. 7.23 b)), který se již na stanici používal pro ruční dávkování a poskytuje časově řízené dávkování. Dávkovač je připojen k vnějšímu zdroji elektrické energie i zdroji stlačeného vzduchu, reguluje dávkovací tlak a ovládá dávkování dle nastavené doby. Do integrovaného zásobníku se vkládá otevřená láhev s dávkovaným médiem a zásobník se uzavře. Poté je do něj přiváděn čistý, filtrovaný tlakový vzduch, který v zásobníku tlačí na kapalinu v láhvi a vytlačuje ji přívodní hadičkou k dávkovacím ventilům. V našem případě do tří membránových ventilů přes rozvětvený přívod. Kromě jiného také poskytuje detekci vyprázdnění zásobníku a konektor XS1 pro připojení nožního snímače, případně připojení k vyššímu řídicímu systému [57].



Obr. 7.23 a) Dávkovací membránový ventil [56], b) Poloautomatický dávkovač s integrovaným zásobníkem [57]

7.3.2 Návrh pneumatického lineárního pohonu

Hmotnosti jednotlivých komponent, které vstupují do návrhu lineárního pneumotoru byly stejně jako v předchozích případech nejprve určeny odhadem a poté během konstrukce lepícího uzlu upřesněny a zaokrouhleny na základě hmotností generovaných softwarem i hmotností nakupovaných prvků (zejména hmotnost vozíku po volbě její varianty na následující straně).

Znamé parametry

| | |
|--|---|
| Hmotnost dávkovací trysky: | $m_{dt} = 0,06 \text{ kg}$ |
| Hmotnost lineárního vozíku: | $m_{lv} = 0,03 \text{ kg}$ |
| Hmotnost obráběných komponent: | $m_{ok} = 0,20 \text{ kg}$ |
| Hmotnost ostatních prvků: | $m_{op} = 0,10 \text{ kg}$ |
| Součinitel zohledňující dynamickou sílu: | $k_d = 1,5$ |
| Koeficient valivého tření | $\mu = 0,004 \text{ [51]}$ |
| Tlak v rozvodech: | $p_r = 6 \text{ bar} = 0,6 \text{ MPa}$ |

Dimenzování (návrh) lineárního pneumotoru

Tíhová síla komponent umístěných na vozíku:

$$F_{G2} = (m_{dt} + m_{lv} + m_{ok} + m_{op}) \cdot g$$

$$F_{G2} = (0,06 + 0,03 + 0,20 + 0,10) \cdot 9,81 = 3,83 \text{ N} \quad (53)$$

Třecí odpor:

$$F_r = \mu \cdot F_{G2} = 0,004 \cdot 3,83 = 0,002 \text{ N} \quad (54)$$

Protože oproti síle vyvozované pístem nepůsobí žádná zátěžná síla, kterou by musel pneumotor svým tlakem překonávat, nebylo k návrhu průměru pístu vůbec přistoupeno. Jediný odpor oproti pohybu zde působí pouze třecí síla pohyblivých částí, na níž jsou již lineární pneumotory z výroby dostatečně dimenzovány a třecí odpor, který klade lineární vozík proti valení. Kladený třecí odpor vypočtený vzorcem (54) je zanedbatelně malý a i přes silné ovlivnění odporem maziva při zatížení menším než 10 % dynamické únosnosti neposkytuje dostatečnou odporovou sílu, se kterou by bylo zapotřebí počítat při návrhu průměru pístu [51].

Na základě těchto skutečností byl zvolen kompaktní pneumatický lineární pohon s nejmenším možným průměrem pístu. Konkrétně jde o pneumotor RM/92012/20 s průměrem pístu 12 mm a zdvihem 20 mm, který je dostatečný pro odsunutí trysky ven z pracovního prostoru nastavovacího uzlu. Kruhové válce vyráběné s průměry pístu 10 mm nevyhovují z hlediska zástavbových rozměrů stísněnému prostoru testovací stanice.

7.3.3 Návrh lineárního vedení

Při návrhu lineárního vedení bylo vycházeno ze silového působení (Obr. 7.24) vznikajícího od lineárního pneumotoru. Krom síly pneumotoru je vozík zatěžován též tíhovou silou komponent, které na sobě nese. Avšak vzhledem k její velikosti určené vzorcem (53) bylo její působení zanedbáno. Působíště síly pneumotoru bylo odměřeno ze zpracovaného modelu.

Vedení tohoto typu bylo podobně jako v případě nastavovacího uzlu zvoleno zejména díky poskytované přesnosti nutné pro přesné najetí dávkovací jehly nad prohlubeň k tomu určenou. Stejně tak byly dalším důvodem k volbě velmi malé zástavbové rozměry důležité pro stísněné prostředí celé stanice.

Znamé parametry

| | |
|--|--|
| Průměr pístu pneumotoru pro lepení: | $D_3 = 12 \text{ mm}$ [55] |
| Průměr pístnice pneumotoru pro lepení: | $d_3 = 6 \text{ mm}$ [55] |
| Bezpečnostní faktor: | $f = 3 \dots$ pro normální zatížení [51] |
| Rameno síly F_{j3v} : | $i = 34,5 \text{ mm}$ |
| Tlak v rozvodech: | $p_r = 6 \text{ bar} = 0,6 \text{ MPa}$ |

Výpočet požadovaných hodnot zatížení

Plocha pracovní části pístu ($\varnothing 12 \text{ mm}$) při vysouvání:

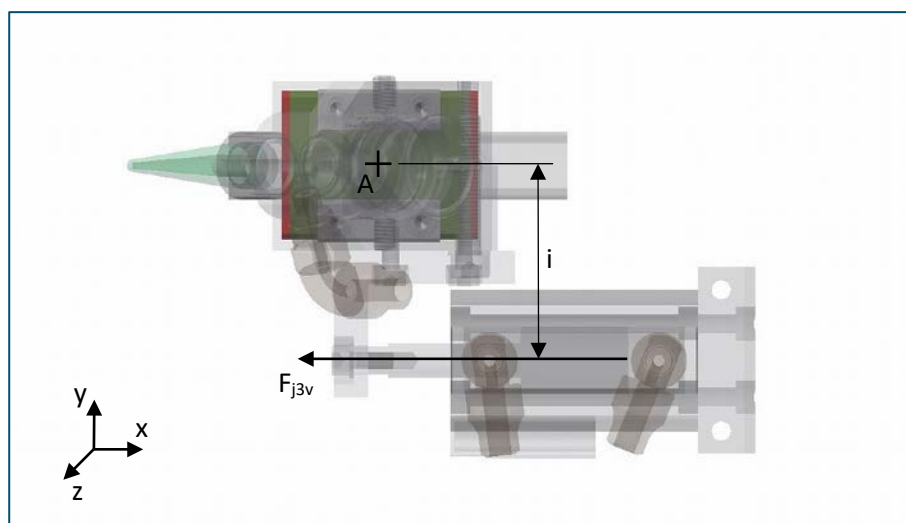
$$S_{p3v} = \frac{\pi \cdot D_3^2}{4} = \frac{\pi \cdot 12^2}{4} = 113,1 \text{ mm}^2 \quad (55)$$

Jmenovitá síla pneumotoru ($\varnothing 12 \text{ mm}$) při vysouvání:

$$F_{j3v} = p_r \cdot S_{p1z} = 0,6 \cdot 113,1 = 67,86 \text{ N} \quad (56)$$

Požadovaná hodnota dovoleného momentu ve směru osy Z:

$$M_{zp} = F_{j3v} \cdot i \cdot f = 67,86 \cdot 34,5 \cdot 3 = 7,02 \text{ Nm} \quad (57)$$



Obr. 7.24 Silové působení při nastavování ovl. prvků

Statická únosnost vozíku není při tomto silovém zatížení určujícím parametrem díky již zmíněné zanedbatelně malé tíhové síle komponent a nebyla tedy počítána stejně jako momenty ve směrech os X a Y, kde nepůsobí žádná silová zatížení.

Následně bylo zvoleno lineární kuličkové vedení odpovídající požadované hodnotě dovoleného momentu (rovnice (57)). Vozík rozsahově odpovídající tomuto parametru má typové označení MGN 09C. Nicméně toto vedení nevyhovuje z důvodu dostatečných zástavbových a připojovacích rozměrů dávkovacího ventilu. Na základě této skutečnosti bylo zvoleno vedení MGN 12C (Obr. 7.25) [51].

Parametry zvoleného vedení MGN 12C [51]

Dovolený statický moment M_z :

$$M_{zd} = 13,72 \text{ Nm}$$

Výpočet skutečné bezpečnosti

Moment působící ve směru osy Z:

$$M_z = F_{j3v} \cdot i = 67,86 \cdot 34,5 = 2,34 \text{ Nm} \quad (58)$$

Bezpečnostní faktor pro moment v ose Z:

$$f_z = \frac{M_{zd}}{M_z} = \frac{13,72}{2,34} = 5,86 \quad (59)$$

| Typ | Montážní rozměry [mm] | Rozměry vozíků [mm] | | | | | | | | | | | | Rozměry kolejnic [mm] | | | | | | | | | | | | Šířka pro kolejnice [mm] | Dynamická únosnost C_d [N] | Statická únosnost C_0 [N] | Statický moment | | | Hmotnost | |
|---------|-----------------------|---------------------|-----|----|----|-----|----|------|------|---|-------|----------|-----|-----------------------|-----|-----|-----|-----|----|---|------|------------|------------|------------|-------------|--------------------------|------------------------------|-----------------------------|------------------------|--|--|----------|--|
| | | H | H1 | N | W | B | B1 | C | L1 | L | G | Gn | MxL | H2 | WR | HR | D | h | d | P | E | M_x [Nm] | M_y [Nm] | M_z [Nm] | vozík q_0 | | | | kolejnice Q_0 [kg/m] | | | | |
| MGN 12C | 13 | 3,0 | 7,5 | 27 | 20 | 3,5 | 15 | 21,7 | 34,7 | - | ø 2,0 | M3 x 3,5 | 2,5 | 12 | 8,0 | 6,0 | 4,5 | 3,5 | 25 | * | M3x8 | 2900 | 4000 | 25,48 | 13,72 | 13,72 | 34,000 | 0,65 | | | | | |
| MGN 12H | 13 | 3,0 | 7,5 | 27 | 20 | 3,5 | 20 | 32,4 | 45,4 | - | ø 2,0 | M3 x 3,5 | 2,5 | 12 | 8,0 | 6,0 | 4,5 | 3,5 | 25 | * | M3x8 | 3800 | 6000 | 38,22 | 36,26 | 36,26 | 54,000 | 0,65 | | | | | |

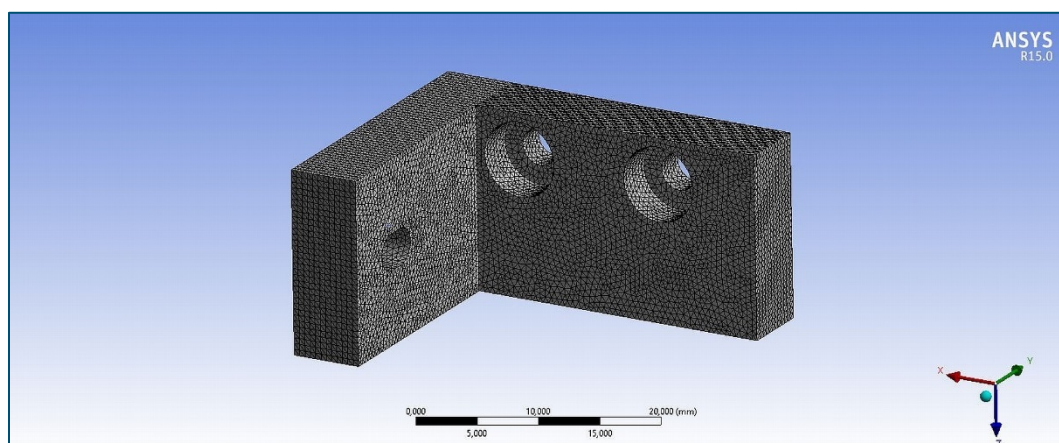
Obr. 7.25 Parametry zvoleného lineárního vedení [51]

7.3.4 MKP analýza kritického prvku

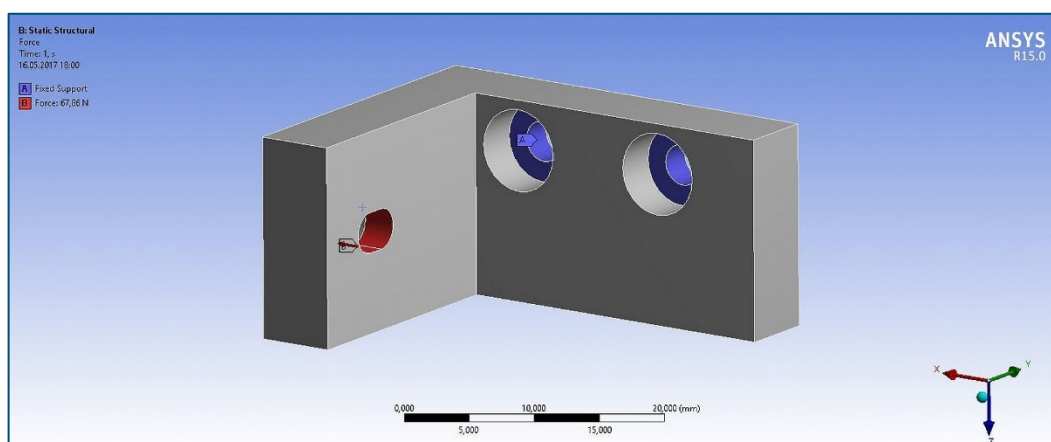
Jako kritické a nejnamáhanější místo konstrukce nastavovacího uzlu byla dle silového působení určena redukce sloužící k připojení lineárního pneumotoru ke zbytku komponent. Po importu modelu součásti bylo nastaveno síťování (Obr. 7.27), které stejně jako v případě upínací desky vycházelo z konvergence hodnot napětí ku velikosti prvku. Výsledná hodnota ekvivalentního napětí dle kritéria HMH se zastavila při velikosti prvku sítě 0,5 mm za využití funkce „body sizing“ se zjemněním ploch pomocí mapování.

Jedinou zvolenou okrajovou podmínku představuje vetknutí otvorů, které simuluje šroubové připojení redukce k navazující součásti (Obr. 7.26). Co se týče silového zatížení, při zasunutém pístu nepůsobí na redukci žádná síla (tíhová zanedbána) a proto se při pevnostní analýze vycházelo ze síly při vysouvání pístu pneumotoru určené rovnicí (56). Tato síla působí na redukci v koncové poloze, kdy je příruba vozíku opřena o dorazový šroub.

Výsledný průběh ekvivalentní napětí napříč součástí a jeho maximální hodnotu, které dosahuje hodnoty 84,03 MPa, lze pozorovat na obrázku 7.28. Jako materiál analyzované redukce byla zvolena konstrukční ocel 11 700, která je vhodná pro větší nestřídivá napětí a strojní součásti, u nichž je požadována větší odolnost proti namáhání. Ocel není vhodná ke svařování a pro zabezpečení větší korozivzdornosti materiálu u ní byla předepsána povrchová úprava zinkováním [53].



Obr. 7.27 Nastavení síťování redukce pro připojení válce

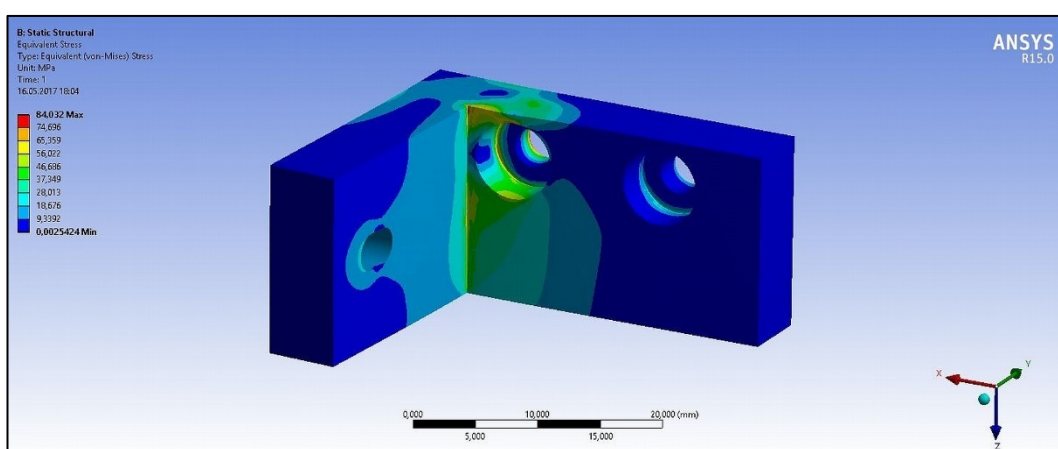


Obr. 7.26 Volba okrajových podmínek redukce

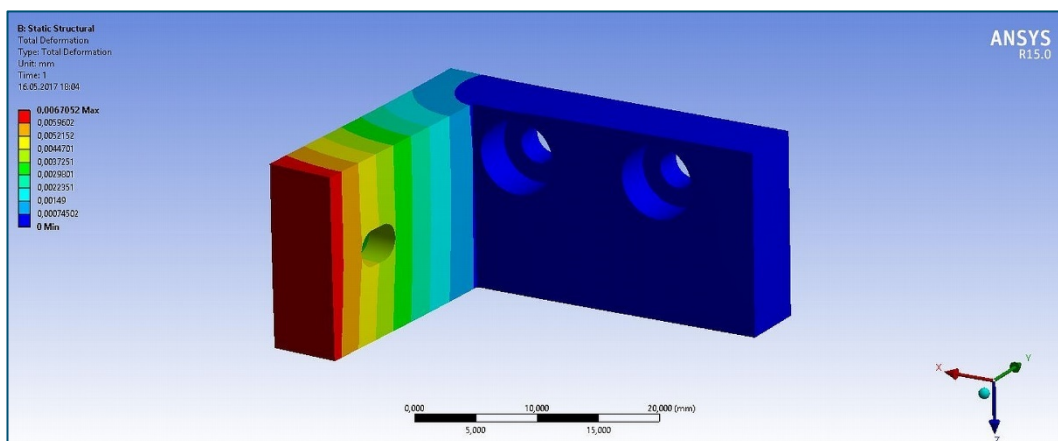
Mez pevnosti v tahu (R_m) této oceli se pohybuje v rozmezí 685–835 MPa s minimální mezí kluzu (R_e) 345 MPa [53]. Na základě této známé meze kluzu a vypočtené maximální hodnoty ekvivalentního napětí (Obr. 7.28) byl ze vzorce (60) vypočten součinitel bezpečnosti.

$$k_k = \frac{R_e}{\sigma_m} = \frac{345}{84,03} = 4,11 \quad (60)$$

Průběhy deformací (Obr. 7.29) a napětí odpovídají předpokládaným průběhům a z pohledu posouzení vůči meznímu stavu materiálu navrhované součást vyhovují více než dostatečně. Na základně výpočtu bezpečnostního koeficientu lze konstatovat, že je součást vzhledem k působícímu zatížení a mezi kluzu voleného materiálu lehce předdimenzována. Nejde však o nijak závratné číslo, aby musela být součást optimalizována a s přihlédnutím k rázům vznikajícím od lineárního pneumotoru je tato bezpečnost vhodná.



Obr. 7.28 Vykreslení napětí na redukci dle kritéria HMM

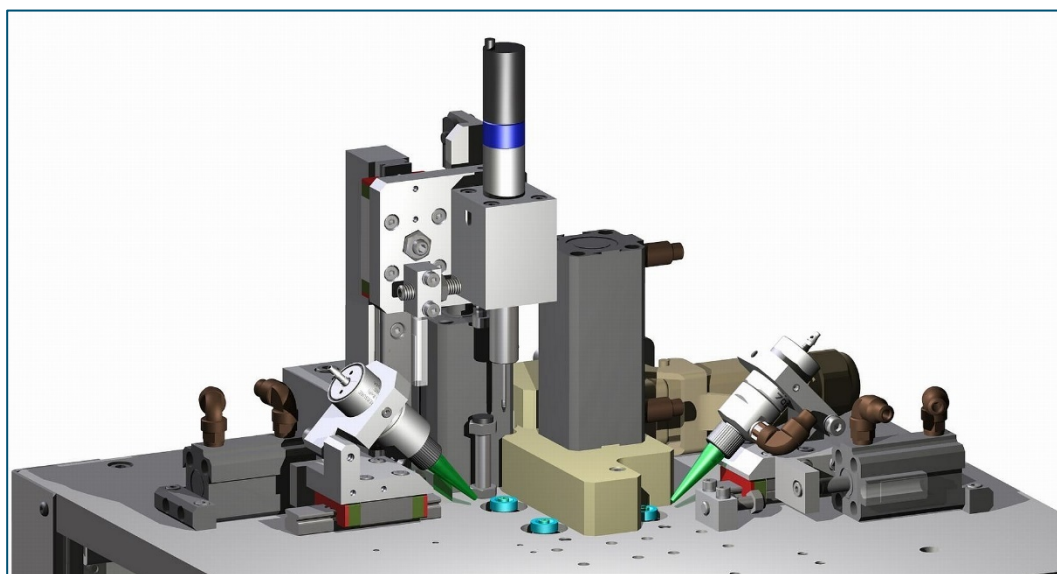


Obr. 7.29 Vykreslení celkové deformace redukce

7.4 Umístění automatizovaných uzlů a krytování

Automatizované nastavovací i lepící uzly popsané na předchozích stranách jsou na horní upínací desce přítomny celkem tři od každého, a to z důvodu pokrytí všech pozic a možných vyráběných variant ventilového bloku. Volbu tohoto řešení popisuje již podkapitola 6.7 Návrhy na zvýšení efektivity a z důvodu stísněných prostor, světlosti nastavovacího prostoru i umístění je vždy jeden z těchto uzlů sestaven i otočen zrcadlově oproti ostatním dvěma. S přihlédnutím k tomuto faktu byly všechny potřebné prvky konstruovány univerzálně pro montáž oběma směry. Usazení jednotlivých uzlů lze vidět na konci strany (Obr. 7.30) spolu s umístěním speciálních dorazových šroubů a lineárním pneumotorem navrženým pro těsnění pozice čtvrtého ovládacího prvku (viz 6.5 SMED studie). Dva z těchto uzlů vždy obsluhují jednu pozici a jejich funkci lze programově odlišit dle vyráběné varianty, která ne vždy obsahuje všechny 3 ovládací prvky. Třetí lepící uzel je umístěn vedle levého – zrcadlově oproti pravému a ostatní dva nastavovací leží v přední části oproti uzlu na obrázku tak, aby byla jejich rotační hřídel umístěna nad nastavovacími šrouby s modrým nákrůžkem pro nanášení lepidla. Ostatně celé rozložení testovací stanice zobrazuje hlavní sestavní výkres umístěný v příloze č. 7.

Co se bezpečnosti a zamezení přístupu operátora do pracovního prostoru během testování týče, jsou všechny automatizované uzly na horní upínací desce krytovány. Celá konstrukce horního krytu má sklopný charakter tak, aby se dalo během seřizování i údržby (plánované či neplánované) dostat ke všem komponentám. Rámová konstrukce je sešroubována z hliníkových profilů modulu 20 s šířkou drážek 6 mm, do kterých byly zasazeny pláty plexiskel o stejné šířce. Kloubové spojení realizují dva hliníkové otočné panty s rozsahem 200° a k usnadnění otevírání slouží hliníkové madlo. Pro zamezení otevření horního krytu během právě běžícího testovacího procesu slouží bezpečnostní magnetický spínač umístěný v pravé části horní upínací desky. Stejně jako horní, tak i spodní pracovní část stanice je ohraněna průhledným plexisklem, které má tentokrát díky charakteru upínání dvě po sobě se posouvající části. Rohové části, kde se komponenty pohybují proti sobě, čímž vzniká možnost skřípnutí prstu či jiných částí těla byly opatřeny plechovými rožky a testování je spouštěno dvouručním bezpečnostním spínáním. Přední části by v případě požadavku neměl být problém dopracovat ručně či automaticky výsuvný kryt přes teleskopická vedení.



Obr. 7.30 Umístění automatizovaných uzlů na horní upínací desce

7.5 Seznam dodavatelů a náklady na pořízení

K návrhu testovací stanice byla též vypracována kompletní výkresová dokumentace umístěná v příloze č. 7. Vše je rozděleno do několika podsestav, které kromě vlastních výrobních výkresů obsahují také kusovníky se všemi využitými komponentami i dodavateli potřebnými k realizaci. Na základě tohoto seznamu byly následně určeny ceny jednotlivých komponent i celé testovací stanice, které jsou nutné pro výpočet výsledné návratnosti umístěné v závěrečném zhodnocení (viz 9 Technicko-ekonomické zhodnocení).

Seznam obsahuje všechny položky nutné k sestavě testovací stanice mimo výrobní linku tak, aby bylo nutné odstavení pracoviště pro implementaci stanice co nejmenší a nebylo zapotřebí některých stávajících komponent. Některé položky jako poloautomatický dávkovač lepicího média, či ventily pro řízení lineárních pneumotorů, které jsou na pracoviště již přítomny a postačí jejich přepojení na nový návrh, nebyly do těchto nákladů započteny. Ceny jednotlivých komponenty byly určeny na základě vystavených cenových nabídek jednotlivých výrobců, případně z již starších nacenění produktů či nákupů v minulosti. V případě obráběných dílů byly hodnoty určeny nabídkami několika externích nástrojových dílen, které na základě zpracované výkresové dokumentace vytvořily cenovou nabídku na výrobu. Z poskytnutých variant byla s ohledem na zkušenosti s danými dodavateli a dobou dodání vybrána nabídka nejvíce vyhovující. Výrobky společnosti IMI Precision Engineering využité při návrhu stanice byly určeny z interního ceníku firmy.

Celkové náklady na realizaci toho projektu jsou i s podrobnějším rozpisem uvedeny v příloze č. 8 a byly rozděleny na základě konstrukčních uzlů a dodavatelů do následujících položek:

- základní konstrukce a upínání,
- posuvný vozík výrobku,
- připojení testovacího okruhu,
- nastavování ovládacích prvků,
- lepení (aretace) ovládacích prvků,
- krytování,
- ostatní.

Výsledná celková částka nutná k pořízení všech komponent a realizaci nového návrhu automatizované testovací stanice dle výše zmíněných specifikací je:

352 477,74 CZK bez DPH (61)

Avšak při realizaci takovýchto větších projektů je zapotřebí počítat s neočekávanými náklady, změnou cen výrobců atp. Z tohoto důvodu se výsledná částka ještě navýší o 10 %. Po navýšení o tuto procentuální hodnotu se dostáváme na konečnou cenu, která je přibližně:

387 725,52 CZK bez DPH (62)

7.6 Etapy realizace

Vlastní příprava a realizace rozsáhlejších projektů, jako je i zpracovaná automatizace montážní stanice, prochází v rámci firemní struktury několika fázemi či etapami. Od identifikace určité základní myšlenky až po ukončení projektu lze tuto realizaci chápat jako určitý sled čtyř fází:

- předinvestiční (předprojektová příprava),
- investiční (projektová příprava a realizace výstavby),
- provozní (operační),
- ukončení provozu a případná likvidace [58].

Každá z těchto etap je z hlediska úspěšnosti celého projektu velmi důležitá a zvýšené pozornosti by mělo být věnováno hlavně fázi předinvestiční (rozbory a analýzy), na které závisí výsledek celého projektu. Výstupem této etapy je následně rozhodnutí o tom, zda bude či nebude projekt realizován [58].

Tabulka uvedená na následující straně (Tab. 7.2) znázorňuje realizační etapy projektu zpracovávané testovací stanice dle posloupnosti běžně aplikované ve společnosti IMI Precision Engineering. Tabulka obsahuje též časový fond jednotlivých etap, které lze v rámci firemního rozhodnutí pro realizaci přestavby následně jednoduše zpracovat do Ganttova³⁴ či jiného diagramu znázorňujícího časovou posloupnost jednotlivých etap dle data započetí.

Úvodní identifikace příležitostí tvoří počáteční východisko předinvestiční fáze a na základě dlouhodobějšího pozorování, odhalení významných zdrojů chyb, plýtvání, vyšších požadavků od zákazníka či jen nových možných příležitostí poskytuje prvotní impuls projektu, a dala také vzniknout této práci. Podle výsledků následující přípravné fáze se rozhoduje pro nebo proti realizaci a její výstup je stěžejním bodem ke zpracování požadavků na zajištění investičních nákladů.

Následně vše probíhá dle posloupnosti uváděné v tabulce s tím, že etapy spojené šipkou představují vzájemné prolínání. Modře značená pole znázorňují již hotové etapy zpracované touto závěrečnou prací, a to včetně závěrečného zhodnocení, které se ještě na základě výsledku realizace upravuje. Celá realizace projektu vrcholí startem výrobního provozu, jeho činností a ukončením provozu s případnou likvidací v zatím nedohledné době. Pokud bychom chtěli celou realizaci od začátku přípravné fáze po ostrý start výroby shrnout, s přihlédnutím na prolínání jednotlivých fází a za předpokladu, že nedojde k nějakým zásadím problémům, by se jednalo o časový horizont přibližně 6–7 měsíců.

³⁴ Pruhový diagram pro grafické znázornění plánované posloupnosti činností v čase.

Tab. 7.2 Etapy realizace testovací stanice

| Realizační etapa | Věcný obsah | Časový fond |
|---|--|---------------|
| 1.1 Úvodní identifikace příležitosti, požadavky zákazníka | – | – |
| 1.2 Přípravná fáze – rozbor a analýza aktuálního stavu | Výstupem jsou požadavky, přínosy, cena a návratnost | 3 týdny |
| 2.1 Zabezpečení potřebných investic (financí k realizaci) | Zajištění peněžního CAPEXU ³⁵ (týden příprava, měsíc schválení) | 5 týdnů ↕ |
| 2.2 Design, konstrukční návrh | Vypracování návrhu, technické dokumentace, seznamu komponent | 4–5 týdnů |
| 2.3 Nákup komponent | Objednání komponent – nejprve nejdelší doba dodání + 2 týdny rezerva | 10 týdnů ↕ |
| 2.4 Implementace | Montáž stanice mimo výrobní linku | 2–3 týdny |
| | Zabudování testovací stanice (výměna původní a zapojení) | 1 týden ↕ |
| 2.5 Programování | Programování PLC a vizualizace | 1 týden ↕ |
| 2.6 Verifikace | Ověření naprogramování stanice a funkčnosti celého systému | 1 týden |
| 2.7 Kalibrace a ověření | Cgk ³⁶ , MSA ³⁷ – posouzení a vyhodnocení systému měření | 1 týden |
| 3.1 SOP ³⁸ | R@R ³⁹ – vyhodnocení výroby před/po | 2 dny |
| 3.2 PPAP ⁴⁰ | V případě požadavku zákazníka (představení a zákaznická kontrola) | 1 týden |
| 3.3 Závěrečné zhodnocení | Prezentace výsledných zlepšení | – |
| 4.1 Ukončení provozu a případná likvidace | – | – |

³⁵ CAPital EXpenditures = kapitálové či investiční náklady.

³⁶ Capability of Gauge = způsobilost měření.

³⁷ Measurement System Analysis = analýza (způsobilost) systému měření.

³⁸ Standard Operating Produce = zahájení standardní výroby.

³⁹ Run at Rate = prvotní ověření po změně.

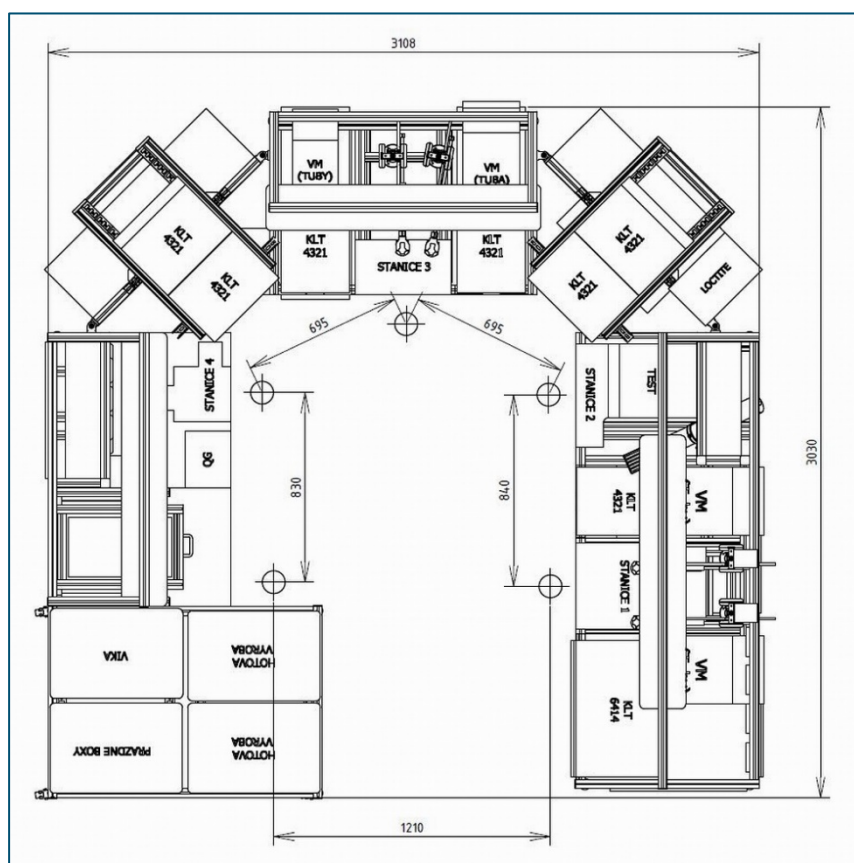
⁴⁰ Production Part Approval Process = schválení vhodnosti použití komponent ve výrobě.

8 ÚPRAVA ERGONOMIE VÝROBNÍ LINKY

V návaznosti na předešlý rozbor a návrhy vedoucí ke zvýšení efektivity se nyní dostáváme k druhému doplňujícímu řešení. Tato úprava, jak bylo řečeno při volbě vhodných v podkapitole 6.7, již takřka neprospěje kýženému navýšení efektivity, ale eliminuje jeden z problémů a přispěje k lepším pracovním podmínkám (viz 6.6 Určení problémů a úzkých míst).

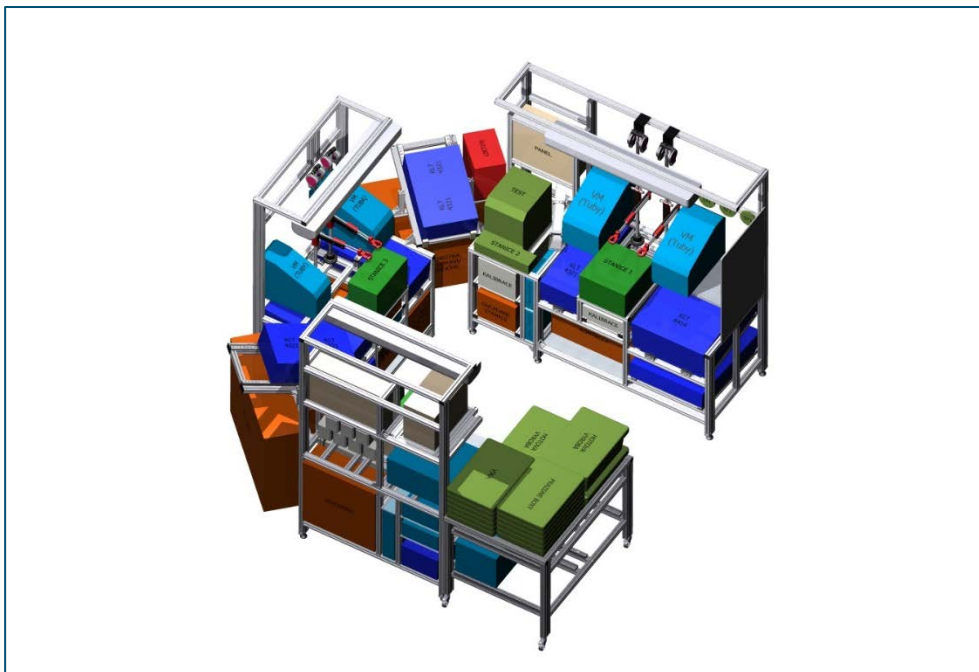
Při úpravě výrobní linky bylo zapotřebí navrhnout nové stoly s hlavním cílem eliminovat příliš dlouhé vzdálenosti mezi jednotlivými stanicemi, upravit i přiblížit některé pozice vstupních materiálů a dosáhnout tak lepších podmínek pro operátory. Všechny dosahy byly redukována na přijatelnou míru dle uváděných norem v podkapitole 4.5 Ergonomie. S touto úpravou pak také souvisí zlepšení v podobě několika ušetřených metrů a časů pro manipulaci s materiálem. Z výsledků této úpravy vychází nový layout výrobní linky (Obr. 8.1), kde došlo oproti původnímu (Obr. 6.3) ke zmenšení rozměrů výrobní linky i zmenšení cest operátorů. Šířka upravené linky byla snížena o přibližně půl metru z původních 3600 mm na cca 3100 mm a její délka pak o cca 700 mm z původních 3750 mm na nynějších 3030 mm. Při úpravě se zachovaly všechny pozice pro materiál (vstupní i výstupní) tak, jako tomu bylo doteď a v některých případech došlo k přidání pozic pro odkládání prokladů, které jsou umísťovány mezi komponenty v přepravních KLT boxech.

Celý skelet (nosná konstrukce) výrobní linky (Obr. 8.2, 8.3) je tvořena stavebnicovým hliníkovým konstrukčním systémem a všechny komponenty konstrukce jsou kromě válečkových kolejnic (firmy ITEM) produktem společnosti Alutec KK. Na hlavní nosné nohy konstrukce bylo využito širších profilů s označením 104080. Všechny ostatní prvky se mimo



Obr. 8.1 Layout upravené výrobní linky

nenosných z 101640, skládají z klasického čtvercového profilu s označením 104040. Jednotlivé profily se vzájemně spojují přímo do sebe nebo s využitím speciálních matic do profilů a šroubů dodávaných výrobcem. Jednotlivé stoly jsou postaveny nepohyblivě na dodávaných patkách připojených přes speciální upínací příruby do širokých nosných profilů. Poslední menší stůl pro hotovou výrobu byl realizován jako pojízdný pro potřeby případného přesunu. Některá spojení, která nebylo možno spojit přímo, jsou realizována přes fixační úhelníky, eventuálně otočné klouby pro vytvoření nakloněných rovin s kolejnicemi pro hladší pojezd přepravných KLT boxů. Hliníkové základové desky jednotlivých stanic se stejně jako nyní přišroubují přímo na profily a případné odkládací prostory se řeší přes přířezy plexiskel, případně plastové desky.



Obr. 8.2 Pohled na upravenou výrobní linku 1



Obr. 8.3 Pohled na upravenou výrobní linku 2

8.1 Stůl č. 1

První stůl, kde operátor začíná výrobu ventilového bloku, prošel pravděpodobně největšími úpravami (Obr. 8.4). Současný pojezdový vozík, který zaujímá statickou polohu a obsahuje KLT typu 6414 byl z výrobní linky odstraněn a tyto přepravní boxy se vstupními těly byly umístěny hned vedle první stanice na dosah ruky operátora. Již touto první úpravou došlo k odstranění prvních dvou kroků, případně kroku s úklonem či natočením, které dosud museli operátoři absolvovat, aby dopravili vstupní materiál k první stanici. Současně bylo takové využito prázdného prostoru, jenž mezi těmito dvěma pozicemi vznikl.

Druhým důležitým bodem úpravy bylo navýšení pozic těchto přepravních boxů, jež byly za současném stavu umístěny přibližně 20 mm pod spodní hranici pomyslné desky stolu dané horním profilem. Vzhledem k umístění materiálu na dně boxu se musely operátoři nahýbat do výšky přibližně 700 mm od země, což je nevyhovující. Odstraněním předních profilů a využitím nakloněné roviny bylo dosaženo jednoduššího odstraňování prázdných boxů z pojezdu. Díky této skutečnosti se dala tato hodnota navýšit a umístit KLT do výšky 900 mm, která je též pomyslnou deskou stolu a již odpovídá standardům i spíše méně výškově profilovaným operátorům pracujícím na výrobní lince. Díky této skutečnosti bylo také možno přiblížit vstupní materiál ve formě tub, které byly zasunuty v zadní části stolu, čímž se zmenšilo nutné natáhnutí pracovníků pro tyto součástky.

Další hlavní změnu představoval přesun testovací stanice ze středního stolu č. 2 do levé části stolu nynějšího. Díky této změně došlo ke zúžení výrobní linky. Nejenže se lehce zkrátila vzdálenost mezi stanicí č. 1 a 2 na přibližně 600 mm překonatelných jedním krokem, ale zúžení výrobní linky také zmenšilo nepracovní vzdálenost (a s tím související čas) mezi koncovou stanicí, vstupním materiálem a stanicí č.1, kterou operátoři absolvovaly od dokončení výroby jednoho kusu k započetí výroby kusu dalšího. Tímto přesunem také vznikly 2 pozice pro umístění plastových prokladů z boxů, které se za současného stavu na lince nenacházely.



Obr. 8.4 Upravený stůl č. 1

8.2 Stůl č. 2

Druhý stůl umístěný na výrobní lince již neprošel tak rozsáhlými změnami jako tomu bylo u stolu prvního. Nejdůležitější změnu zde představuje ono odstranění druhé testovací stanice, její přesun na stůl č. 1 a s tím změny avizované na předchozí straně. Elegantně řešené rohové pozice (Obr. 8.5) pokrývající vždy nejvíce prostorově choulostivé místo výrobních linek tvarovaných do „U“, zůstaly nezměněny. Stejně jako v případě předchozím došlo k navýšení již popsanych pozic přepravních KLT boxů za pomoci odstranění předního profilu a k přisunutí tub se vstupní materiálem blíže třetí stanici a na dosah operátorů.

Změnou prošla i levá spodní pozice pro prázdné KLT přepravky vystupující z výrobní linky ven, kde se o jejich sběr starají skladníci zajišťující milk run⁴¹ napříč celou výrobní halou. Tyto pozice pro prázdné přepravky a proklady jsou na linkách obsaženy z důvodu zamezení plýtvání z důvodu přecházení s prázdnými či plnými boxy na blíže specifikovaná místa mimo výrobní linku. Původní pozice nebyla zaopatřena nakloněnou rovinou s kolejkami pro usnadnění přesunu prázdného boxu do zadní polohy k odběru.

Mezi automatickým dávkovačem šroubů pro pneumatický šroubovák (jeho umístění naznačeno též přítomným balancerem⁴²) a pozicí s ovládacími prvky pro stanici bylo nevyužitě místo upotřebeno pro odkládání vík přepravních KLT boxů typu 4321. Toto místo bylo za předešlého stavu umístěno na nynější pozici poloautomatického dávkovače lepidla pro automatizovanou testovací stanici, která byla i s tímto dávkovačem přemístěna. Současná pozice je však lépe situována a poskytuje stejnou vzdálenost od všech přepravních boxů. Jediným možným vznikajícím problémem tohoto řešení je nutnost prodloužení kabeláže z PLC a pneumatického ovládání umístěného vpravo dole, které patří k přesunuté stanici č. 2. Při vedení kabeláže pod jednotkou na úpravu vzduchu však není tato vzdálenost nijak závratná.



Obr. 8.5 Upravený stůl č. 2

⁴¹ Rozvoz materiálu ze skladu v pravidelných intervalech pro pravidelných trasách.

⁴² Mechanismus pro zavěšení a fixování břemene.

8.3 Stůl č. 3

Poslední pevně umístěný – nepohyblivý stůl sloužící k závěrečnému testování a uložení kusů do boxu pro hotovou, eventuálně nevyhovující výrobu, neprošel, co se pozic týče žádnou výraznou změnou. V původním uspořádání na desce stolu nefigurovala jen „pátá“ stanice pro 100% kontrolu, která ještě nebyla do výrobní linky implementována. Kromě zmenšení volných prostorů okolo přípravků a komponent umístěných na stole, byla více rozčleněna levá spodní část obsahující fólie a krabičky pro balení kompletního ventilového bloku na desce stolu nad těmito pozicemi (Obr. 8.6). Původní poličky pro tyto dva poslední materiály vstupující do výrobní linky, byly zmenšeny kvůli jejich nadměrným rozměrům. Zmenšením prošla také polička pro kontrolní momentový klíč a přibyla další pozice pro prázdné proklady, které jsou nyní na lince celkem 3 a pokrývají tak všechny druhy prokladů umístěvaných do přepravních KLT boxů. Poslední prázdná pozice s původně umístěným odpadkovým košem byla nahrazena pozicí pro prázdné KLT z prvního stolu a koš lze umístit do levého rohu (na obrázku vpravo) pod přepravku.

Poslední poměrně velkou změnou prošel pojízdný stolek s přepravními boxy pro hotovou výrobu. Jeho původní podlouhlá verze situovaná vlevo a rovnoběžně se třetím stolem byla nahrazena širší verzí. Nový stolek obsahuje 4 pozice na každém ze dvou pater a je oproti původní verzi situován v úhlu 90° k danému stolu. Změnou umístění a úpravou charakteru tohoto stolu došlo ke snížení vzdáleností, jako tomu bylo v případě stolu č. 1. Původní vzdálenost obvykle překonávaná na tři kroky byla nahrazena téměř nulovou nutností chůze od desky, na které probíhá balení. Operátům nyní postačí pouze otočení směrem k hotové výrobě, kde umístí hotový kus a následně vyrazí směrem ke stanici č. 1. Vysunutím stolu směrem do výrobní linky také došlo k menšímu uzavření celého výrobního procesu s dostatečně velkou uličkou pro vyjítí ven. Tímto přesunem hotové výroby blíže k první stanici se částečně eliminovala vzdálenost i neproduktivní čas přesunu bez výrobku.



Obr. 8.6 Upravený stůl č. 3

8.4 Seznam dodavatelů a náklady na pořízení

Ke druhému doporučenému rozšiřujícímu řešení, které představuje úprava ergonomie výrobní linky popsaná na předchozích stranách, byly stejně jako v předchozím případě vypracovány celkové náklady potřebné k realizaci. Ceny jednotlivých komponent, kterými jsou zejména hliníkové konstrukční profily, byly určeny na základě součtu délek potřebných profilů z vypracovaných modelů – skeletu stolů výrobní linky. Potřebná délka se z důvodu odřezků a dále nepoužitelných zbytků profilů atp. navýšila přibližně o 10 % a výsledné ceny se určily na základě dřívějších vystavených cenových nabídek. Co se týče odkládacích desek stolů (mimo desek přípravků) a krytování citlivých prvků za pomoci plexiskel, jejich cena byla odhadnuta za pomoci zkušeností pracovníků firmy.

Celkové náklady na realizaci ergonomické úpravy linky jsou i s podrobnějším rozpisem uvedeny v příloze č. 8 a byly rozděleny do následujících položek:

- hliníkové konstrukční profily,
- stavěcí patky a kolečka,
- spojovací prvky (úhelníky, klouby),
- zaslepovací profily,
- spojovací materiál (šrouby, matice),
- odkládací desky a přířezy PMMA⁴³,
- kolejnice.

Výsledná celková částka nutná k pořízení všech komponent nutných k realizaci úpravy linky z výše zmíněných specifikací byla odhadnuta na:

121 620,76 CZK bez DPH (63)

Neočekávané náklady zahrnující další případné úpravy rámců stolů související s dodatečným umístěním přípravků a jiných komponent zahrnuje v tomto případě již délkové navýšení potřebných profilů zmíněné v prvním odstavci.

⁴³ Polymethylmethakrylát – plexisklo.

9 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Na následujících stranách technicko-ekonomického zhodnocení jsou vyhodnoceny jednotlivé varianty, jež byly navrženy s cílem zvýšit efektivitu celé montážní výrobní linky. V rámci technické části zhodnocení byl posouzen jejich vliv na efektivitu – hodinovou produkci ventilových bloků a eliminaci problémů popsanych na konci rozboru aktuálního stavu (6.6 Určení problémů a úzkých míst). Ekonomická část zhodnocení se následně zabývá posouzením nákladů na pořízení vzhledem k návratnosti celého projektu.

9.1 Navýšení efektivity

9.1.1 Automatizace testovací stanice č. 2

Při propočtu výsledného navýšení efektivity při implementaci NTS⁴⁴ do výrobní linky bylo vycházeno z reálných a teoretických propočtů spotřeb časů daných studií MOST a balančními diagramy vypracovanými v úvodním rozboru. Pro další možnost porovnání byla studie MOST zpracována ještě jednou, tentokrát pro modifikovanou výrobní linku s implementovanou NTS.

Při analýze modifikovaného výrobního procesu bylo vycházeno z již zmíněné ověřené funkce automatizovaných montážních kroků na jiném typu výrobku a výrobní lince. Časová spotřeba na nich činí 15 s pro proces nastavování a 2,5 s pro proces lepení. Vzhledem ke stejným nastavovaným ovládacím prvkům bylo z těchto časů vycházeno a jejich hodnoty byly zaneseny do nové MOST studie znázorňující časovou spotřebu po implementaci navržené stanice. Výstupní data ze studie lze vidět v následující tabulce 9.1 a celá studie pro všechny typy výrobků je dále uvedena v příloze č. 5.

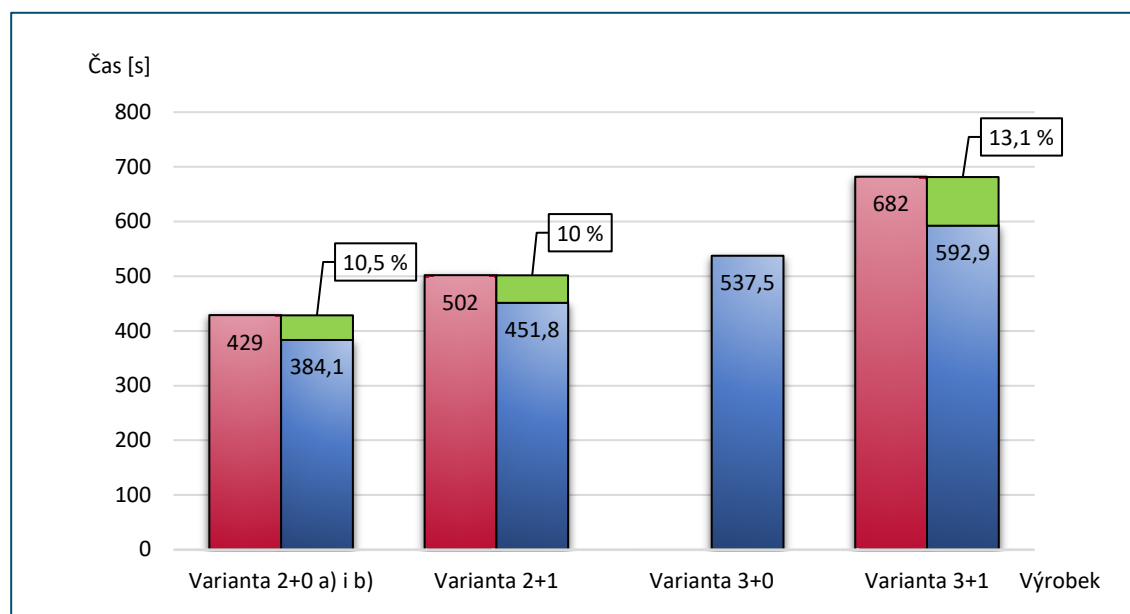
Reálná časová spotřeba varianty výrobku 3+0 není v tabulce znázorněna z toho důvodu, že nebyla v časovém úseku od zadání po odevzdání závěrečné práce vyráběna. Tabulka ukazuje porovnání spotřeb jak pro samostatnou stanici č. 2, tak i pro celou výrobu jednoho samostatného kusu. Časové údaje testovacích stanic jsou vždy u skupiny dvou výrobků (2+0, 2+1 a 3+0, 3+1) stejné, což je dáno technologickým procesem, do nějž na druhé stanici nevstupuje poslední ovládací prvek umístěný za znaménkem +.

Tab. 9.1 Výsledné porovnání časových spotřeb

| Varianta výrobku | Reálná spotřeba času před implementací | | Teoretická spotřeba času před implementací | | Teoretická spotřeba času po implementaci | |
|----------------------|--|--------|--|--------|--|--------|
| | Stanice 2 | Celkem | Stanice 2 | Celkem | Stanice 2 | Celkem |
| | [s] | | | | | |
| Varianta 2+0 a) i b) | 166 | 429 | 148,68 | 402,12 | 130,68 | 384,12 |
| Varianta 2+1 | 166 | 502 | 148,68 | 469,80 | 130,68 | 451,80 |
| Varianta 3+0 | – | – | 225,72 | 565,56 | 197,64 | 537,48 |
| Varianta 3+1 | 253 | 682 | 225,72 | 621,00 | 197,64 | 592,92 |

⁴⁴ Nová Testovací Stanice.

Pokud bychom chtěli toto časové snížení spotřeby převést do procentuálního zvýšení efektivity (vyjádřené ve spotřebě času na jeden samostatně vyráběný kus), jednalo by se přibližně o 10,5 % až 13,1 % zaokrouhleně v závislosti na vyráběné variantě ventilového bloku (Obr. 9.1). Hodnotu varianty 3+0 nebylo možné stejně jako v případě přechozí tabulky vyčíslit z již popsanych důvodů. Pokud bychom ale chtěli odhadovat, dle trendu variant 2+0 a 2+1, kdy přidáním posledního ovládacího prvku došli ke snížení efektivity o přibližně 5 %, by byla procentuální hodnota navýšení varianty 3+0 odhadem 13,6 %. Jedná se o hodnoty stanovené bez přírážky, jak bylo popsáno již v kapitole 6.4 MOST studie. Vzhledem k žádanému navýšení efektivity je tato hodnota nedostačující, avšak také ještě není konečná. Tyto hodnoty znázorňují pouze procentuální navýšení efektivity vzhledem k implementované testovací stanici a výrobě samostatně po jednom kusu.



Obr. 9.1 Porovnání spotřeby času a efektivity

Jak je známo již z předcházejícího rozboru a vypracovaných Spaghetti diagramů, které znázorňují pohyb operátora napříč výrobní linkou, nikdy nedochází k výrobě ventilového bloku samostatně po jednom kusu. Pokud by tomu tak bylo, vznikly by velmi velké prostoje v důsledku čekání na stanicích č. 2 a 4, kde není operátora zapotřebí. Z tohoto důvodu se operátoři postupně posouvají výrobní linkou a pracují na jiných kusech i stanicích tak, aby toto neefektivní plýtvání z důvodu čekání eliminovaly.

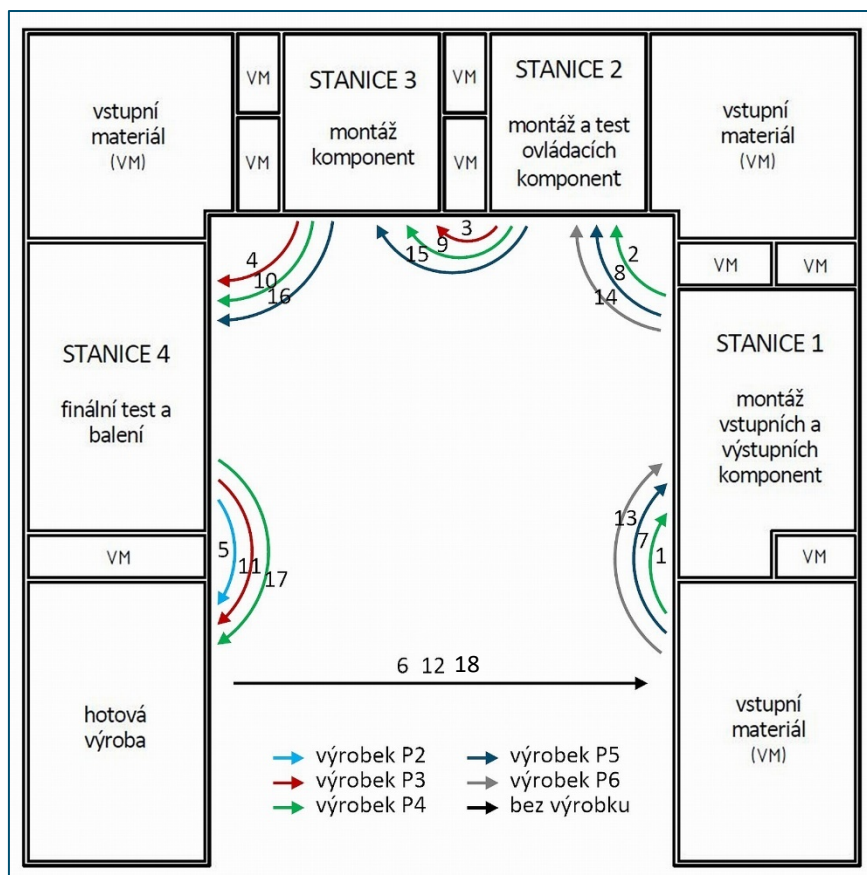
Ve variantě před implementací NTS je toto velké množství nežádoucího přecházení způsobeno nutností ručního nastavování a lepení na druhé testovací stanici. Při aplikaci navrhovaného řešení – po implementaci NTS – již není tohoto velkého množství přecházení zapotřebí, protože budou tyto montážní kroky vykonávány automaticky. Touto eliminací nežádoucího přecházení a již zmíněným snížením času středního testu dojde k dalšímu výraznému navýšení hodinové výstupu z výrobní linky. Do toho výpočtu se už pro teoretickou spotřebu danou studií MOST započítává přírážka zahrnující odstraňování prokladů z přepravek, samotných prázdných KLT, občerstvení operátora, vypisování identifikačních karet apod. Hodnota přírážky byla stanovena na 10 % a to z důvodu předchozího nastavení norem,

ze kterých bylo vycházeno. Časy jednotlivých stanic varianty výrobku 2+0 znázorňuje následující tabulka 9.2. Jak bylo zmíněno již na začátku rozboru, všechny data, grafy i vyhodnocení jsou vztažena k této variantě, protože tvoří přibližně 95 % produkce výrobní linky a vše je nanejvýš vhodné vztahovat k ní.

Tab. 9.2 Časy jednotlivých stanic po implementaci návrhu (Varianta 2+0, 10% přírůstek)

| Varianta 2+0 | Stanice č. 1 | Stanice č. 1 | Stanice č. 1 | Stanice č. 1 |
|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Čas [s] | 61,78 | 143,75 | 82,37 | 134,64 |

Na základě předchozích skutečností ohledně postupu práce operátorů na výrobní lince a reálné eliminace nežádoucího přecházení (manuální nastavování a lepení) byl vytvořen výsledný Ganttův diagram, do kterého byly zaneseny spotřeby časů jednotlivých stanic dle tabulky 9.2. Diagram je umístěn v příloze č. 6 a znázorňuje časovou posloupnost činností na jednotlivých výrobcích a výrobních stanicích. Současně byl také vypracován Spaghetti diagram zobrazující tuto stejnou posloupnost aplikovanou na pohyby operátora a výrobku. Z obou těchto grafických znázornění výsledného výrobního procesu vyplývá již zmíněná velmi pozitivní kompletní eliminace nežádoucího přecházení. V přepočtu na kroky je zapotřebí ujit k výrobě jednoho kusu (P4) výsledných 37,5 kroků (0,5 m), což v přepočtu na metry dělá přibližně 18,75 m. Při přepočtu na stávající produkci bez implementace nové stanice (12 ks/h) je to již 1687,5 m na směnu (7,5 h) a při 250 pracovních dnech za rok se dostáváme na konečné zaokrouhlené číslo 422 km/rok, které tato úprava ušetří.



Obr. 9.2 Pohyb operátora a výrobku během montáže po implementaci NTS

Ze Spaghetti a Ganttova diagramu dále vyplývá, že při ustálené výrobě zkompletuje operátor jeden kus na každé projití výrobní linky dle předcházejícího diagramu (Obr. 9.2). Na základě této skutečnosti byl vytvořen jeden MOST formulář, který počítá spotřebu času na jedno projití výrobní linky – tedy na jeden vytvořený kus. Formulář je součástí přílohy č. 6 a z jeho výsledných dat navýšených o přírážku 10 % vychází čas taktu (64):

$$t_c = 184,93 \text{ s} \quad (64)$$

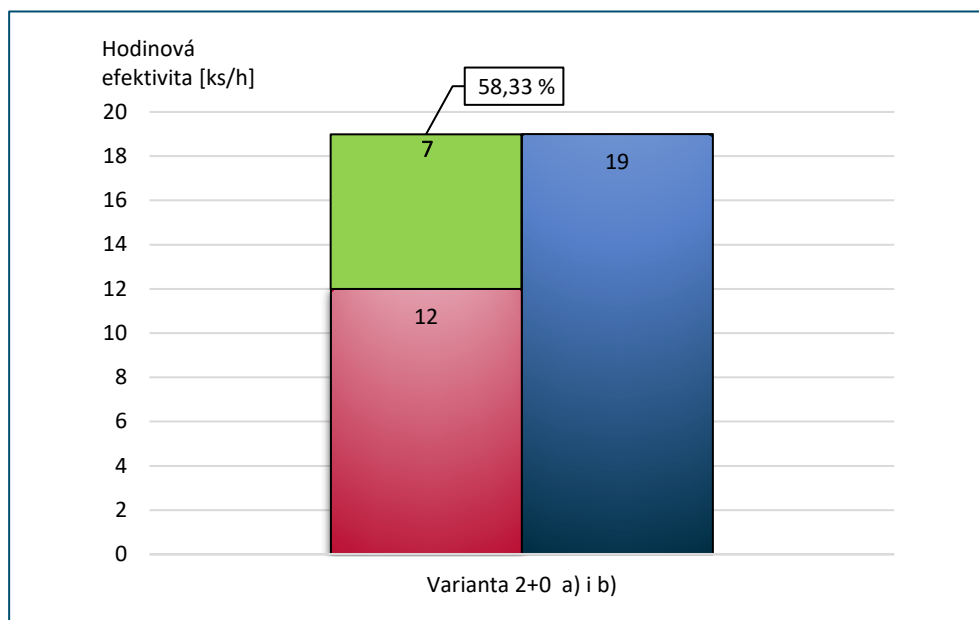
Při následném přepočtu času taktu na efektivitu danou hodinovou produkcí výrobní linky se dostáváme na výslednou hodnotu dle vzorce (65), kterou by měli být operátoři schopni vyrobit:

$$E_{h2} = \frac{3600 \text{ s (1 h)}}{t_c} = \frac{3600}{184,93} = 19,46 \approx 19 \text{ ks/h} \quad (65)$$

Pro porovnání výsledného navýšení efektivity bylo vycházeno z aktuálně nastavených norem pro operátory, které v případě nejvytíženější varianty 2+0 nastavují výstup na 12 ks/h. Následný triviální výpočet založený na přímě úměrnosti dává výsledné procentuální navýšení efektivity, jež již samo o sobě nejen splňuje požadavky daného zadání, ale i výrazně převyšuje očekávání s ním spojená (viz Obr. 9.3). Implementací navržené automatizované testování stanice lze dosáhnout zvýšení efektivity výrobní linky o:

$$E_{\%} = 58,33 \% \quad (66)$$

V případně ostatních variant, již nebude tato hodnota s největší pravděpodobností dosahovat takto vysokého zlepšení efektivity. S přihlédnutím k roční produkci ostatních variant se však nejedná o stěžejní parametr. Navíc vzhledem k velkému přínosu, který poskytuje eliminace zbytečného plýtvání ve formě přecházení, nebude toto číslo o tolik menší.



Obr. 9.3 Výsledné navýšení efektivity

9.1.2 Kombinace automatizace stanice a úpravy ergonomie

Jak již bylo zmíněno, druhé hlavní doplňující řešení v podobě úpravy ergonomie výrobní linky, již takřka neprospěje tíženému zvýšení efektivity, ale spíše eliminuje problémy vznikající nepříliš ergonomicky umístěným vstupním materiálem a zlepší pracovní podmínky pro operátory. V rámci návrhu nových pracovních stolů bylo přistoupeno ke zmenšení rozměrů celé výrobní linky, čímž se též dosáhlo jistého snížení vzdáleností mezi stanicemi.

Z výsledků této úpravy vychází nový layout výrobní linky, kde došlo oproti původnímu řešení ke zmenšení rozměrů výrobní linky i zmenšení cest operátorů. Provedené změny byly popsány již v kapitole 8 Úprava ergonomie výrobní linky. Výsledná šířka nově upravené linky byla snížena o přibližně půl metru z původních 3600 mm na cca 3100 mm a její nově navrhovaná délka pak činí 3030 mm – zkrácení o cca 700 mm z původních 3750 mm. Na základě této změny nedojde k výraznému uvolnění plochy – získaná plocha cca 4 m² – ale dojde ke zkrácení vnitřních rozměrů výrobní linky. Při součtu všech vzdáleností mezi jednotlivými stanicemi (Obr. 8.1 – součástí popisu úpravy ergonomie), jejich následným vynásobením číslem 3 – dle Spaghetti diagramu (Obr 9.2) – získáme počet metrů, které operátor během výroby jednoho kusu při tomto upraveném layout ujde. Zaokrouhleně tato vzdálenost činí přibližně 13,5 m, což je oproti neupravené výrobní lince snížení o 5,25 m (10,5 kroků). Ať se hodnota zdá, jakkoliv malá, při jejím vyčíslení (dle předchozího postupu) se dostáváme konečné číslo cca 187 km/rok.

Vzhledem k tomu, že je tato výsledná úprava ergonomie výrobní linky zpracovávána jako doplňující návrh, k již dostatečně efektivní automatizaci testovací stanice, bylo předcházející snížení cest počítáno k už upravené hodinové produkci – 19ks/h. V případně její samostatné realizace by k navýšení kýžené efektivity nedošlo. Časové lze tuto úsporu kroků (metrů) vyčíslet za pomoci jedné věty studie MOST, která pro 4 kroky (jedno projití výrobní linky = jeden vyrobený kus určuje index s hodnotou 6 (Obr. 9.4).

| Čís. | Popis operace | Sekvence | | | | | | | Opak. | TMU | Čas op. [s] |
|------|-------------------------|----------|---|---|---|---|---|---|-------|-----|-------------|
| | | A | B | G | A | B | P | A | | | |
| 1 | Přepočet 4 kroků na čas | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 60 | 2,16 |

Obr. 9.4 Přepočet kroků na časovou hodnotu

Celkově tedy lze při realizaci obou navržených variant dosáhnout lepších podmínek pro operátory, snížit výrobní cesty operátorů o celkových 609 km/rok, zajistit celkové navýšení efektivity oproti stávajícím normám o 58,33 % (z 12 ks/h na 19 ks/h). Při následné korekci hodinového výstupu s odečtem 2,16 s od času taktu za snížení vzdáleností se výstup posouvá na hodnotu 19,7 ks/h, z čehož vyplývá, že lze každé 2 hodiny vyrobit další ventilový blok. Z tohoto důvodu je hodnota zaokrouhlena na 19,5 ks/h.

$$E_{h3} = \frac{3600 \text{ s (1 h)}}{t_c} = \frac{3600}{182,77} = 19,7 \approx 19,5 \text{ ks/h} \quad (67)$$

9.2 ROI (Return On Investment)

9.2.1 Automatizace testovací stanici č. 2

V rámci ekonomické části závěrečného zhodnocení bylo přistoupeno především k základnímu posouzení návratnosti investic (ROI⁴⁵) na základě vyčíslených pořizovacích nákladů, které obsahuje podkapitola 7.7, případně příloha č. 8. Samotný výpočet je vztažen k poptávce zákazníka, která dle předpokladu poskytnutého firmou bude příští rok činit $\approx 70\,000$ ks/rok. Z vytížení výrobní linky (třísměnný provoz – 5 dní v týdnu) a standardní pracovní doby 7,5 h (+ 0,5 h přestávka) lze následně vypočíst potřebný počet pracovních hodin či směn pro pokrytí poptávky.

| | |
|---|----------------------|
| Hodinová efektivita bez implementace NTS: | $E_{h1} = 12$ ks/h |
| Hodinová efektivita s implementací NTS: | $E_{h2} = 19$ ks/h |
| Roční objem výroby: | $Q_v = 70000$ ks/rok |
| Počet hodin pracovní směny: | $t_s = 7,5$ h |

Počet pracovních hodin nutných k pokrytí poptávky (bez implementace NTS):

$$P_{h1} = \frac{Q_v}{E_{h1}} = \frac{70\,000}{12} = 5833,33 \approx 5834 \text{ h/rok} \quad (68)$$

Počet pracovních směn nutných k pokrytí poptávky (bez implementace NTS):

$$P_{s1} = \frac{P_{h1}}{t_s} = \frac{5834}{7,5} = 777,86 \approx 778 \text{ směn/rok} \quad (69)$$

Na základně přechozích vzorců (68) a (69) byly dále stejným způsobem vypočteny potřebné pracovní hodiny a směny pro variantu s implementovanou NTS, která dle předcházejících výpočtů poskytuje hodinovou efektivitu 19 ks/h (viz 9.1.1). Výsledný počet pracovních směn a hodin znázorňují následující čísla (70) a (71):

$$P_{h2} = 3684,21 \approx 3685 \text{ h/rok} \quad (70)$$

$$P_{s2} = 491,33 = 492 \text{ směn/rok} \quad (71)$$

Ze vzájemného odečtu těchto hodnot, bez a s implementací NTS, dostáváme výsledné ušetřené pracovní hodiny a směny, které tento návrh zajistí:

$$U_{h1} = P_{h1} - P_{h2} = 5834 - 3685 = 2149 \text{ h/rok} \quad (72)$$

$$U_{s1} = P_{s1} - P_{s2} = 779 - 492 = 287 \text{ směn/rok} \quad (73)$$

Vzhledem k pevné poptávce dané zákazníkem, nelze tyto hodnoty dále přepočítávat na peněžní částky vztažené k vyšší produkci, které lze s implementovanou NTS vyrábět. Je tedy nutné přistoupit k přepočtu na práci člověka, která dle informací poskytnutých firmou činí 250 000 CZK/rok. Při standardním počtu pracovních dní za rok (250) lze tuto částku následně přepočíst na následnou cenu práce člověka v hodinách, která je:

$$C_{pč} = 133,33 \approx 133 \text{ CZK/hod} \quad (74)$$

⁴⁵ Return On Investment = návratnost investic.

Celková roční finanční úspora dosažená implementací nově navržené testovací stanice, která je vztažena k práci člověka činní:

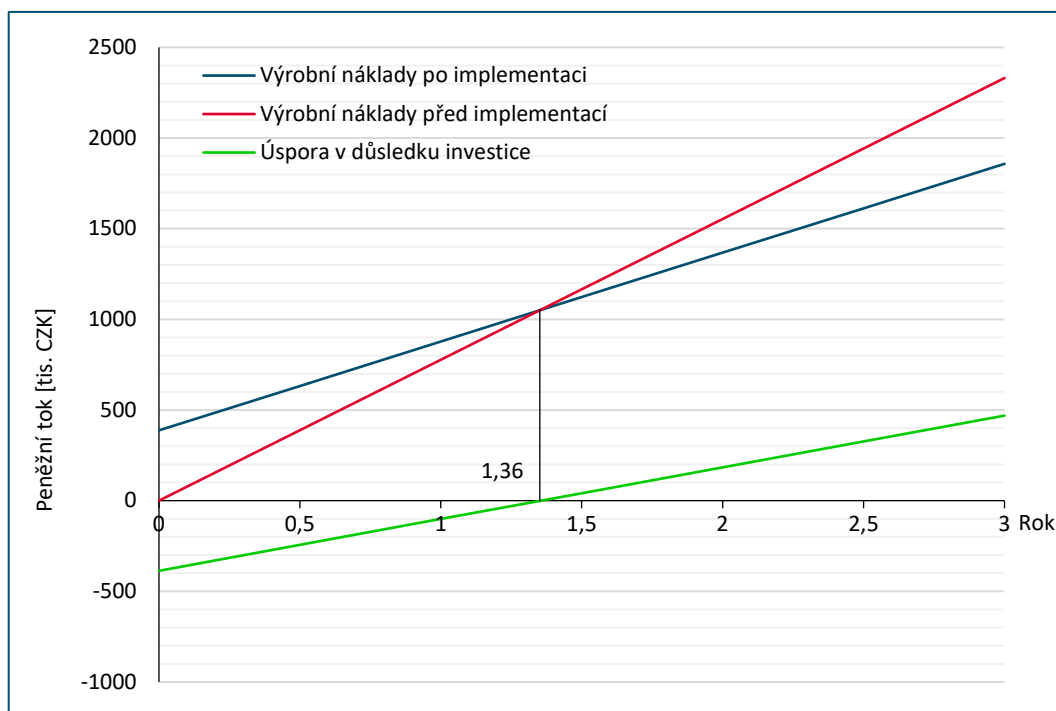
$$U_{f1} = U_{h1} \cdot C_{p\check{c}} = 2149 \cdot 133 = 285\,817 \text{ CZK/rok} \quad (75)$$

Základní doba návratnosti investic se následně vypočte již jednoduchým způsobem, jako podíl investičních nákladů (viz 7.7 Seznam dodavatelů a náklady na pořízení) a úspory, kterou tato investice přinese.

$$T_{N1} = \frac{387\,725,52 \text{ CZK}}{U_f} = \frac{387\,725,52}{285\,817} = 1,36 \text{ roku} \quad (76)$$

Výsledná doba návratnosti investic představuje pouze její základní variantu, která se ještě dále dle finančních principů upřesňuje a její konečná hodnota obvykle dosahuje vyššího čísla. Výslednou návratnost také znázorňuje níže uvedený graf (Obr. 9.5), kde zelená křivka znázorňuje postupný nárůst úspor z počáteční investice. Druhé dvě viditelné křivky představují náklady spojené s postupnou výrobou ventilových bloků, která je přepočtena na cenu práce člověka za současného a nově navrhovaného stavu. Z obou těchto křivek jasně vyplývá doba návratnosti investic, jež se shoduje s výše vypočtenou hodnotou ze vzorce (76).

Celá doba návratnosti by šla ve finále ještě ponížit, a to díky množství ušetřených pracovních směn. Pokud se podíváme zpět na ušetřené pracovní směny, jež implementace návrhu poskytuje, můžeme si povšimnout jejího vysokého čísla (287), které převyšuje standartní počet pracovních dnů (250). Díky této skutečnosti, zde existuje možnost redukce třisměnného provozu na provoz dvousměnný (zpravidla odstraněním noční směny), což představuje jeden z dalších benefitů navrhované úpravy. Pokud by se pro tento krok firma rozhodla, došlo by k dalšímu navýšení úspor díky 15% příplatku za noční směnu.



Obr. 9.5 Grafické znázornění doby návratnosti

9.2.2 Kombinace automatizace stanice a úpravy ergonomie

Stejně jako v případě výpočtů výsledného navýšení efektivity byla druhá doplňující varianta ergonomické úpravy výrobní linky počítána spolu s novou testovací stanicí. Při výpočtu bylo vycházeno ze stejných předpokladů a vzorců jako v předchozím případě. Dle hodinových norem se hodnota ušetřených pracovních hodin a směn nemění, jedinou změnou projde základní výpočet doby návratnosti z důvodu navýšení investic o ergonomickou úpravu a výsledná doba je dána vzorce (77) a graficky znázorněna na obrázku 9.6.

$$T_{N2} = \frac{387\,725,52 \text{ CZK} + 121\,620,76 \text{ CZK}}{U_f} = \frac{508\,346,28}{285\,817} = 1,78 \text{ roku} \quad (77)$$

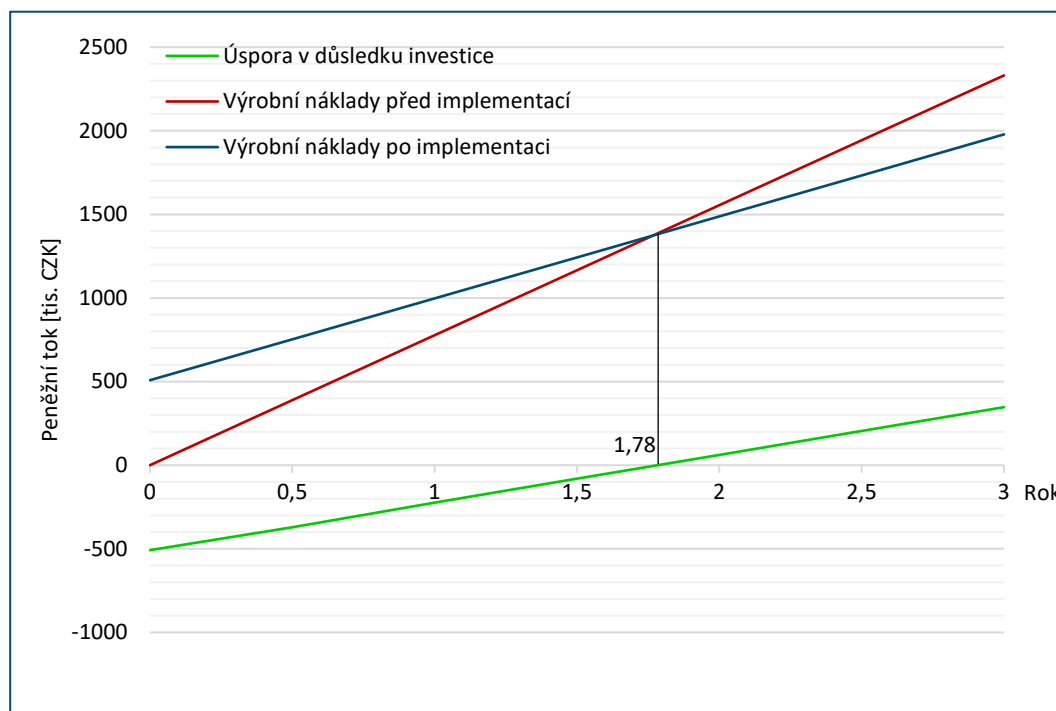
Pokud by bylo dále rozhodnuto pro již zmíněnou variantu zahrnující výrobu jednoho kusu každé 2 hodiny navíc, celková doba návratnosti by již závratnou změnou neprošla (cca 1 měsíc). Toto řešení však není zrovna vhodnou změnou, vzhledem ke skutečnosti, že jsou všechny aktuální normy pro operátory ve výrobě zavedeny jako celá čísla a změna na tuto variantu by mohla přinést spíše problémů než užitku. Současně již toto navýšení také nepřináší nijak významné výsledky vzhledem k efektivitě výrobní linky a dostačeného navýšení, vyhovující době návratnosti a případného snížení třísměnného provozu na dvousměnný je dosaženo i v případě navýšení produkce na normu 19 ks/h. V případě, že by přece jen došlo k této změně, zobrazují korekci doby návratnosti následující hodnoty spočteného dle přecházejícího principu.

$$P_{h3} = 3589,74 \approx 3590 \text{ h/rok} \quad (78)$$

$$U_{h2} = 2244 \text{ h/rok} \quad (79)$$

$$U_{f2} = 298\,452 \text{ CZK/rok} \quad (80)$$

$$T_{N2} = 1,71 \text{ roku} \quad (81)$$



Obr. 9.6 Grafické znázornění doby návratnosti 2

10 ZÁVĚR

Cílem této závěrečné kvalifikační práce, která se zabírala možnostmi zvýšení efektivity montážního pracoviště, bylo navrhnout minimálně dvě řešení vedoucí k požadovanému navýšení s přijatelnou návratností dle zadání. Pracoviště představovala montážní linka určená k výrobě a kompletaci pneumatických ventilových bloků. Navrhovaná řešení vycházela z předem důkladně zpracovaného rozboru zabývajícího se technologickým procesem výroby, jeho časovou spotřebou a zejména úzkými místy i problémovými činiteli, které danou efektivitu omezují. K této analýze bylo přistupováno dle principů štíhlé výroby a využití metody prošly nejprve důsledným zpracováním v úvodní části práce a posloužily tak jako komplexní podklad.

Na základě těchto dvou vzájemně spjatých částí, jež posuzovaly výrobní proces z hlediska časové rovnováhy, pohybů operátora i přestavení strojních zařízení, bylo přistoupeno k vyhodnocení. Z něj následně vzešly dva největší problémy spojené s druhou testovací stanicí, která se ukázala být úzkým místem a mimo jiné zapříčiňovala i velké množství nežádoucího přecházení z důvodu nutnosti manuálního nastavování a lepení ovládacích prvků ventilového bloku. Závěrečná fáze analýzy se následně věnovala možnostem a řešením daných problémů na základě teoretického odhadu navýšení efektivity a nákladů pro realizaci. Několik návrhů ke zlepšení vzešlo hned z rozboru přestavení strojních součástí a jeden z nich byl dále implementován do primárního řešení, které vyšlo jako nejlepší volba ze všech možných variant.

Tuto variantu představovala celková automatizace nastavovacích a lepících procesů testovací stanice, která byla následně kompletně zpracována, a to včetně 3D modelu, úplné výkresové dokumentace a pevnostní MKP analýzy nejvíce namáhaných prvků. V rámci práce byl dále postupně popsán konstrukční návrh jednotlivých uzlů spolu s výběrem hlavních funkčních prvků, při jejichž volbě se zvažovala pozitiva i negativa plynoucí z jejich aplikace. Jedinou nevýhodou celého návrhu lze spatřit v celkově menším prostoru pro usazení komponent, jejichž uspořádání bylo částečně ovlivněno celkovými zástavbovými rozměry stanice, jež už nešly více zvětšit. Tyto menší prostory však dále nejsou nijak limitujícím prvkem a pro počáteční odladění a možnost údržby poskytuje stanice dostatek místa. Toto primární řešení bylo dále rozšířeno o druhou doplňkovou variantu, která se zabývala úpravou ergonomie výrobní linky, kdy došlo k návrhu nových stolů za účelem snížení vzdáleností mezi stanicemi a zlepšení pracovních podmínek pro operátory. K jednotlivým řešením byly vypracovány náklady na pořízení spolu s dodacími lhůtami a dodavateli, ve kterých lze spatřit další přínos obou návrhů – využití kvalitních prvků od renomovaných českých firem nebo alespoň od nejznámějších mezinárodních společností se zastoupením v České republice či přímo v Brně. Ve snaze navrhnout co nejkvalitnější, nejjednodušší, a hlavně funkční řešení pak ve výsledku lehce utrpěla celková cena návrhů, která však hlavně díky úsporám plní zadaný cíl s přehledem.

Ze závěrečného zhodnocení pak vychází výsledné navýšení efektivity, které celkem zásadně převýšilo požadované parametry i očekávání z původních teoretických hodnot uvedených v analýze. Z této skutečnosti tedy vyplývá, že plýtvání vznikající nežádoucími pohyby bylo z hlediska výstupních hodnot výrobní efektivity skutečně významným činitelem. Mezi hlavní benefity návrhů tak patří možnost redukce třisměnného provozu na dvousměnný, s tím spojené poměrně velké úspory a také pozitivní informace směrem k zákazníkovi, kdy lze s navrhovanými řešeními pokrýt podstatně vyšší poptávku ventilových bloků, u které lze vzhledem k rozvoji automobilového průmyslu očekávat postupný nárůst.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] KOLÍBAL, Zdeněk. *Roboty a robotizované výrobní technologie*. První vydání. Brno: Vysoké učení technické v Brně – nakladatelství VUTUM, 2016. ISBN 978-80-214-4828-5.
- [2] KEŘKOVSKÝ, Miloslav a Ondřej VALSA. *Moderní přístupy k řízení výroby*. 3., dopl. vyd. V Praze: C.H. Beck, 2012. C.H. Beck pro praxi. ISBN 978-80-7179-319-9.
- [3] VANĚČEK, Drahoš. *Štíhlá výroba*. 1. vyd. V Českých Budějovicích: Jihočeská univerzita, Ekonomická fakulta, 2013. ISBN 978-80-7394-396-7.
- [4] JUROVÁ, Marie. *Organizace přípravy výroby*. Vydání druhé, rozšířené a přepracované. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2015. ISBN 978-80-214-5247-3.
- [5] BARTOŠEK, Vladimír, Josef ŠUNKA a Matuš VARJAN. *Logistické řízení podniku v 21. století*. 1. vyd. Brno: CERM, 2014. ISBN 978-80-7204-824-3.
- [6] Firemní materiály IMI Precision Engineering, s.r.o.
- [7] *IMI Precision Engineering* [online]. 2016 [cit. 2016-10-30]. Dostupné z: <http://www.imi-precision.com/>
- [8] *IMI Norgren* [online]. 2016 [cit. 2016-11-12]. Dostupné z: <http://www.norgren.com/cz/>
- [9] *IMI plc* [online]. 2016 [cit. 2016-11-12]. Dostupné z: <http://www.imiplc.com/>
- [10] ŘEZÁČ, Jaromír. *Moderní management: manažer pro 21. století*. Brno: Computer Press, 2009. Business books (Computer Press). ISBN 978-80-251-1959-4
- [11] DEFOOR, Bruce. The Definitive Guide To Waste Reduction For Manufacturers. In: *MFG.com* [online]. Marietta: MFG, 2015 [cit. 2016-12-04]. Dostupné z: <http://www.mfg.com/blog/definitive-guide-waste-reduction-manufacturers>
- [12] STROUHAL, Jiří. *Ekonomika podniku*. Praha: Institut certifikace účetních, c2012. Vzdělávání účetních v ČR (Institut certifikace účetních). ISBN 978-80-86716-83-1.
- [13] 5S Posters. *Creative Safety Supply* [online]. Beaverton, 2016 [cit. 2016-12-06]. Dostupné z: <https://www.creativesafetysupply.com/5S-Posters/>
- [14] ŠLAICHOVÁ, Eva. *Výzkum vybraných metod měření produktivity práce: monografie*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2013. ISBN 978-80-7494-007-1.
- [15] ZANDIN, Kjell B. *MOST work measurement systems*. 3rd ed., rev. and expanded. New York: Marcel Dekker, c2003. ISBN 08-247-0953-5.
- [16] Jednotlivé metody a nástroje (I-P): MOST – Maynard Operation Sequence Technique. *API – Akademie produktivity a inovací* [online]. Želečovice: API, 2016 [cit. 2016-12-10]. Dostupné z: <http://www.e-api.cz/24887-jednotlive-metody-a-nastroje-i-p#most>
- [17] PAVELKA, Marcel. *Analýza a měření práce: Trénink*. API – Akademie produktivity a inovací. Brno, 2011.
- [18] *Pracovní texty pro projektování výrobních systémů* [online]. Katedra výrobních systémů, FS TUL, 2009 [cit. 2016-10-30]. Dostupné z: <http://www.kvs.tul.cz/PVSY>
- [19] Jednotlivé metody a nástroje (I-P): Balancování operací. *API – Akademie produktivity a inovací* [online]. Želečovice: API, 2016 [cit. 2016-12-20]. Dostupné z: http://www.e-api.cz/24886-jednotlive-metody-a-nastroje-a-ch#Balancovani_operaci
- [20] Operator balance chart. *Lean Enterprise Institute* [online]. Cambridge: LEI, 2016 [cit. 2016-12-20]. Dostupné z: <http://www.lean.org/lexicon/operator-balance-chart>
- [21] Line balancing. *Six Sigma Material* [online]. SSM, 2016 [cit. 2016-12-20]. Dostupné z: <http://www.six-sigma-material.com/Line-Balancing.html>

- [22] MIKULÁŠKOVÁ, Zuzana. Studie zavedení linky do sériové výroby a její optimalizace. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta podnikatelská, 2015. 82 s. Vedoucí bakalářské práce: prof. Ing Marie Jurová, CSc.
- [23] Jednotlivé metody a nástroje (Q–Z): SMED – Single Minute Exchange of Die. *API – Akademie produktivity a inovací* [online]. Želečnice: API, 2016 [cit. 2016-12-27]. Dostupné z: <http://www.e-api.cz/24888-jednotlive-metody-a-nastroje-q-z#SMED>
- [24] SMED. *Svět produktivity* [online]. Prostějov: SP, 2012 [cit. 2016-12-27]. Dostupné z: <http://www.svetproduktivity.cz/slovník/SMED.htm>
- [25] JEŽEK, Vlastimil. *Efektivita strojního zařízení*. API – Akademie produktivity a inovací. Brno, 2016.
- [26] Jednotlivé metody a nástroje (A–CH): Ergonomie. *API – Akademie produktivity a inovací* [online]. Želečnice: API, 2016 [cit. 2016-12-28]. Dostupné z: <http://www.e-api.cz/24886-jednotlive-metody-a-nastroje-a-ch#Ergonomie>
- [27] Ergonomie. *Svět produktivity* [online]. Prostějov: SP, 2012 [cit. 2016-12-29]. Dostupné z: <http://www.svetproduktivity.cz/slovník/Ergonomie.htm>
- [28] ČESKO. Nařízení vlády č. 361/2007 Sb. ze dne 12. prosince 2007, kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví při práci. In: ASPI [právní informační systém]. Praha: Wolters Kluwer ČR [cit. 2016-12-30].
- [29] *MM Průmyslové spektrum: Monotematická příloha: Inovace (nejen) ve štihlé výrobě*. Praha: MM publishing, 2016, (4). ISSN 1212-2572.
- [30] CHUNDELA, Lubor. *Ergonomie*. 3. vyd. V Praze: České vysoké učení technické, 2013. ISBN 978-80-01-05173-3.
- [31] Ergonomie a lidský činitel. *Oborový portál pro BOZP* [online]. Praha: Výzkumný ústav bezpečnosti práce, 2016 [cit. 2016-12-30]. Dostupné z: <http://www.bozpinfo.cz/kategorie/ergonomie-lidsky-cinitel>
- [32] NOVÁK, Radek. *Mezinárodní kamionová doprava a zasílatelství*. V Praze: C.H. Beck, 2013. ISBN 978-80-7400-514-5.
- [33] SAJDL, Jan. Emisní norma EURO. *Autolexicon* [online]. Autolexicon: ISSN 1804-2554, 2017 [cit. 2017-01-24]. Dostupné z: <http://www.autolexicon.net/cs/articles/emisni-norma-euro/>
- [34] OLŠANSKÝ, Milan. Euro 6 - Čistému vše čisté!. *Trucker: Fernfahrer Magazin* [online]. 2010, 20(10) [cit. 2017-01-24]. ISSN 1335-5431. Dostupné z: http://www.automobilrevue.cz/rubriky/truck-bus/predstavujeme/euro-6-cistemu-vse-ciste_39739.html
- [35] SAJDL, Jan. SCR (Selective Catalytic Reduction). *Autolexicon* [online]. Autolexicon: ISSN 1804-2554, 2017 [cit. 2017-01-24]. Dostupné z: <http://www.autolexicon.net/cs/articles/scr-selective-catalytic-reduction/>
- [36] Kudlík, M. Technologie selektivní katalytické redukce. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2015. 55 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Radim Dundálek, Ph.D.
- [37] JURÍK, J. Technologie selektivní katalytické redukce pro osobní automobily. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2014. 42 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Radim Dundálek, Ph.D..
- [38] SAJDL, Jan. AdBlue. *Autolexicon* [online]. Autolexicon: ISSN 1804-2554, 2017 [cit. 2017-01-24]. Dostupné z: <http://www.autolexicon.net/cs/articles/adblue/>
- [39] SAJDL, Jan. EGR (Exhaust Gas Recirculation). *Autolexicon* [online]. Autolexicon: ISSN 1804-2554, 2017 [cit. 2017-01-24]. Dostupné z: <http://www.autolexicon.net/cs/articles/egr-exhaust-gas-recirculation/>

- [40] Pospíšil, J. Snižování spotřeby benzínových motorů EGR technologie. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2016. 47s. Vedúcí bakalárskej práce Ing. Jiří Bazala.
- [41] HOREJŠ, Karel a Vladimír MOTEJL. *Příručka pro řidiče a opraváře automobilů*. Vyd. 4. Brno: Littera, 2009. Technické novinky. ISBN 978-80-85763-52-2.
- [42] WAN, Mark. Emission Control. *AutoZine Technical School* [online]. Autozine: Autozine, 2011 [cit. 2017-01-29]. Dostupné z: http://www.autozine.org/technical_school/engine/Emission.html
- [43] NUNNEY, M. J. *Light and heavy vehicle technology*. 4th ed. Boston: Elsevier/Butterworth-Heinemann, 2007. ISBN 978-075-0680-370.
- [44] XIN, Qianfan. *Diesel engine system design*. Oxford: Woodhead, 2011. Woodhead Publishing in mechanical engineering. ISBN 978-085-7090-836.
- [45] Pacbrake: PRXB Exhaust Brakes [online]. [cit. 2017-01-27]. Dostupné z: <http://pacbrake.com/supplemental-brakes/prxb-exhaust-brakes/prxb-mechanics/>
- [46] KLT 4314. *PISANI Plasticos* [online]. Brasil: Pisani, 2017 [cit. 2017-02-05]. Dostupné z: <http://www.pisani.com.br/en/produtos/industrial/klt-4314-122>
- [47] Jednotlivé metody a nástroje (I-P): Poka – Yoke. *API – Akademie produktivity a inovací* [online]. Želečovice: API, 2016 [cit. 2017-02-06]. Dostupné z: http://www.e-api.cz/24887-jednotlive-metody-a-nastroje-i-p#Poka_Yoke
- [48] KAIZEN. *Svět produktivity* [online]. Prostějov: SP, 2012 [cit. 2016-2-14]. Dostupné z: <http://www.svetproduktivity.cz/slovník/KAIZEN.htm>
- [49] GN 251: Dorazové šrouby. *Elesa+Ganter* [online]. [cit. 2017-05-14]. Dostupné z: <https://www.elesa-ganter.cz/vyroby/strojni-prvky/skupina/gn-251>
- [50] IMI NORGREN. *RA/192000/M, ISO Compact cylinder: Magnetic piston, double acting* [online]. ©2015, 11 s. [cit. 2017-05-14]. Dostupné z: https://d25g25bk48as5o.cloudfront.net/pdf/en_1_5_084_RA_192000_M.pdf
- [51] HIWIN. *Lineární vedení* [online]. Aktualizované vydání. Brno, 2016 [cit. 2017-05-14]. Dostupné z: <http://www.hiwin.cz/cz/download>
- [52] IMI NORGREN. *RM/8000/M, ISO cylinder: Magnetic piston, double acting* [online]. ©2015, 11 s. [cit. 2017-05-14]. Dostupné z: https://d25g25bk48as5o.cloudfront.net/pdf/en_1_5_021_RM_8000.pdf
- [53] LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření*. 4., dopl. vyd. Úvaly: Albra, 2008. ISBN 978-80-7361-051-7.
- [54] MAJOR, Štěpán. *Vliv plasmové nitridace na únavovou životnost vysocepevných ocelí*. Brno, 2010. Vedoucí práce Prof. RNDr. Jaroslav Pokluda, CSc.
- [55] IMI NORGREN. *RM/92000/M, Short stroke cylinder: Magnetic piston, double acting* [online]. ©2015, 9 s. [cit. 2017-05-14]. Dostupné z: https://d25g25bk48as5o.cloudfront.net/pdf/en_1_5_141_RM_92000_M.pdf
- [56] Miniaturní membránové ventily řady 702. *Nordson EFD* [online]. Praha: Nordson Corporation, ©2017 [cit. 2017-05-17]. Dostupné z: <http://www.nordson.com/cs-CZ/divisions/efd/products/valves/mini-diaphragm-valves-702-series>
- [57] *Loctite: Equipment Sourcebook* [online]. 3rd edition. Hertfordshire: Henkel, ©2010 [cit. 2017-05-17]. Dostupné z: http://hybris.cms.henkel.com/medias/sys_master/8802961621022.pdf
- [58] FOTR, Jiří a Ivan SOUČEK. *Investiční rozhodování a řízení projektů: jak připravovat, financovat a hodnotit projekty, řídit jejich riziko a vytvářet portfolio projektů*. Praha: Grada, 2011. Expert (Grada). ISBN 978-80-247-3293-0.
- [59] *Faulhaber: Technical Information* [online]. 9th edition. Schönaich, ©2017 [cit. 2017-05-20]. Dostupné z: <https://www.faulhaber.com/en/global/support/documentation/>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ

| Symbol | Jednotka | Význam symbolu |
|--|----------------------|---|
| $m_{ud}, m_{nu}, m_{lu},$ $m_{kr}, m_{op}, m_{sm},$ m_{pp}, m_{ok}, m_{dt} | [kg] | hmotnosti součástí či konstrukčních uzlů |
| k_d | [–] | součinitel zohledňující dynamickou sílu |
| D_1, D_2, D_3 | [mm] | průměry pístů lineárních pneumotorů |
| p_r | [MPa] | tlak v pneumatických rozvodech |
| $S_{p1v}, S_{p2v}, S_{p3v}$ | [mm ²] | plocha pracovní části pístu (vysouvání) |
| $F_{j1v}, F_{j2v}, F_{j3v}$ | [N] | jmenovitá síla pneumotoru (vysouvání) |
| F_{z1}, F_{z2} | [N] | zátěžná síla |
| g | [m·s ⁻²] | tíhové zrychlení |
| F_{d1} | [N] | dynamická síla |
| F_t | [N] | třecí síla pohyblivých částí pneumotoru |
| F_v | [N] | síla nutná pro vysunutí pístu |
| d_1, d_2, d_3 | [mm] | průměr pístnice lineárního pneumotoru |
| f | [–] | bezpečnostní faktor |
| a, b, c, d, e, h, i | [mm] | rameno působící síly |
| S_{p1z}, S_{p2z} | [mm ²] | plocha pracovní části pístu (zasouvání) |
| F_{j1z}, F_{j2z} | [N] | jmenovitá síla pneumotoru (zasouvání) |
| F_{up} | [N] | upínací síla |
| F_x | [N] | síla působící ve směru osy X |
| F_y | [N] | síla působící ve směru osy Y |
| M_{xp} | [Nm] | požadovaná hodnota dovoleného momentu v ose X |
| M_{yp} | [Nm] | požadovaná hodnota dovoleného momentu v ose Y |
| C_{sp} | [N] | požadovaná statická únosnost vozíku |
| C_0 | [N] | statická únosnost vozíku |
| M_{xd} | [Nm] | dovolený statický moment v ose X |
| M_{yd} | [Nm] | dovolený statický moment v ose Y |
| C_s | [N] | statické zatížení vozíku |
| f_x | [–] | bezpečnostní faktor pro moment v ose X |
| f_y | [–] | bezpečnostní faktor pro moment v ose y |
| f_c | [–] | bezpečnostní faktor pro únosnost vozíku |
| R_m | [MPa] | mez pevnosti v tahu |
| R_e | [MPa] | mez kluzu |
| σ_m | [MPa] | maximální ekvivalentní napětí |
| k_k | [–] | součinitel bezpečnosti vůči mez kluzu |
| S_p | [mm ²] | požadovaná plocha pracovní části pístu |
| D_p | [mm] | požadovaný průměr pístu |
| F_{G1}, F_{G2} | [N] | tíhová síla |

| | | |
|---------------------------|-------------|---|
| M_x | [Nm] | moment působící v ose X |
| M_y | [Nm] | moment působící v ose Y |
| μ | [–] | koefficient valivého tření |
| F_r | [N] | třecí odpor |
| M_{zp} | [Nm] | požadovaná hodnota dovoleného momentu v ose Z |
| M_{zd} | [Nm] | dovolený statický moment v ose Z |
| M_z | [Nm] | moment působící v ose Z |
| f_z | [–] | bezpečnostní faktor pro moment v ose z |
| t_c | [s] | čas taktu |
| $E_{h1}, E_{h2}, E_{h2},$ | [ks/h] | hodinová efektivita |
| $E_{\%}$ | [%] | procentuální efektivita |
| Q_v | [ks/rok] | roční objem výroby |
| t_s | [h] | počet hodin pracovní směny |
| P_{h1}, P_{h2}, P_{h3} | [h/rok] | počet hodin pro pokrytí ročního objemu výroby |
| P_{s1}, P_{s2} | [směna] | počet směn pro pokrytí ročního objemu výroby |
| U_{h1}, U_{h2} | [h/rok] | úspora hodin za rok |
| U_{s1} | [směna/rok] | úspora směn za rok |
| $C_{pč}$ | [CZK/h] | hodinová cena práce člověka |
| U_{f1}, U_{f2} | [CZK/rok] | roční finanční úspory |
| T_{N1}, T_{N2} | [rok] | doba návratnosti investic |

SEZNAM OBRÁZKŮ, TABULEK

Seznam obrázků

| | |
|---|----|
| Obr. 3.1 a) Logo a produktové značky společnosti [7], b) Produkty automobilové divize [7] | 19 |
| Obr. 4.1 Sedm druhů plýtvání [11] | 21 |
| Obr. 4.2 Anglický ekvivalent japonských kroků [13] | 22 |
| Obr. 4.3 Příklad 5S na pracovišti [6] | 23 |
| Obr. 4.4 Příklad Basic MOST formuláře | 26 |
| Obr. 4.5 Balance chart – příklad před balancováním [19] | 27 |
| Obr. 4.6 Balance chart – příklad po balancování [19] | 28 |
| Obr. 4.7 Schéma přestavení na novou výrobu [6] | 29 |
| Obr. 4.8 Jednotlivé kroky metodiky SMED [23] | 30 |
| Obr. 4.9 Systém člověk – technika – prostředí [30] | 32 |
| Obr. 4.10 a) Dosahy horních končetin ve svislé rovině při práci vsedě [28], b) Dosahy horních končetin ve svislé rovině při práci vstoje [28], c) Dosahy horních končetin ve vodorovné poloze při práci vsedě i vstoje [28] | 34 |
| Obr. 5.1 Snižování objemu částic [32] | 36 |
| Obr. 5.2 Nádrž pro AdBlue [35] | 37 |
| Obr. 5.3 Proces selektivní katalytické redukce [35] | 38 |
| Obr. 5.4 a) Podtlakově ovládaný EGR ventil [39], b) Elektromagneticky ovládaný ventil [39] | 39 |
| Obr. 5.5 Princip EGR [42] | 40 |
| Obr. 5.6 Schématické uspořádání výfukové brzdy [43] | 41 |
| Obr. 5.7 Funkce klapky (uzavíracího ventilu) [45] | 42 |
| Obr. 6.1 Schéma vyráběného ventilového bloku | 44 |
| Obr. 6.2 Výrobní linky | 45 |
| Obr. 6.3 Layout výrobní linky | 45 |
| Obr. 6.4 a) VDA KLT 4314 [46], b) Tuby na materiál | 46 |
| Obr. 6.5 Růst norem během posledních let | 51 |
| Obr. 6.6 Množství realizovaných kaizenů | 52 |
| Obr. 6.7 Pohyby operátora a výrobku během montáže (1OP) | 53 |
| Obr. 6.8 Pohyby operátora a výrobku během montáže (2OP) | 54 |
| Obr. 6.9 Balance chart aktuálního stavu výrobní linky | 55 |
| Obr. 6.10 Ukázka několika MOST vět | 56 |
| Obr. 6.11 Výměnné přípravky na stanicích 1 a 4 | 58 |
| Obr. 6.12 Nežádoucí přecházení (vzdálenosti) mezi stanicemi | 60 |
| Obr. 7.1 Aktuální stav testovací stanice | 63 |
| Obr. 7.2 Nová testovací stanice – přední pohled | 64 |
| Obr. 7.3 Nová testovací stanice – zadní pohled | 65 |
| Obr. 7.4 Základní konstrukce s přípojevacími uzly | 66 |
| Obr. 7.5 a) Uložené testovací kontakty, b) Dorazový šroub [49] | 67 |
| Obr. 7.6 Konstrukční uzly pro připojení testovacího okruhu – a) pravý, b) střední | 69 |
| Obr. 7.7 Silové působení při upínání – rovina YZ | 71 |

| | |
|---|-----|
| Obr. 7.8 Silové působení při upínání – rovina XZ | 71 |
| Obr. 7.9 Parametry zvoleného lineárního vedení [51]..... | 72 |
| Obr. 7.10 Volba okrajových podmínek upínací desky | 73 |
| Obr. 7.11 Vykreslení nastaveného síťování a deformace upínací desky..... | 74 |
| Obr. 7.12 Vykreslení napětí upínací desky dle kritéria HMH..... | 74 |
| Obr. 7.13 Konstrukční uzel pro nastavování ovládacích prvků – a) přední pohled, b) zadní pohled | 75 |
| Obr. 7.14 a) Stejnoseměrný motor série 1628...B [59], b) Planetová převodovka série 16/7 [59] | 76 |
| Obr. 7.15 Schéma komponent zvoleného válce [55]..... | 78 |
| Obr. 7.16 Silové působení při nastavování ovl. prvků – a) rovina YZ, b) rovina XZ..... | 79 |
| Obr. 7.17 Parametry zvoleného lineárního vedení [51]..... | 80 |
| Obr. 7.18 Nastavení síťování redukce pro připojení válce | 81 |
| Obr. 7.19 Volba okrajových podmínek redukce..... | 81 |
| Obr. 7.20 Vykreslení celkové deformace redukce | 82 |
| Obr. 7.21 Vykreslení napětí na redukci dle kritéria HMH | 82 |
| Obr. 7.22 Konstrukční uzel pro lepení (aretaci) ovládacích prvků | 83 |
| Obr. 7.23 a) Dávkovací membránový ventil [56], b) Poloautomatický dávkovač s integrovaným zásobníkem [57] | 84 |
| Obr. 7.24 Silové působení při nastavování ovl. prvků | 86 |
| Obr. 7.25 Parametry zvoleného lineárního vedení [51]..... | 87 |
| Obr. 7.26 Volba okrajových podmínek redukce..... | 88 |
| Obr. 7.27 Nastavení síťování redukce pro připojení válce | 88 |
| Obr. 7.28 Vykreslení napětí na redukci dle kritéria HMH | 89 |
| Obr. 7.29 Vykreslení celkové deformace redukce | 89 |
| Obr. 7.30 Umístění automatizovaných uzlů na horní upínací desce | 90 |
| Obr. 8.1 Layout upravené výrobní linky | 95 |
| Obr. 8.2 Pohled na upravenou výrobní linku 1..... | 96 |
| Obr. 8.3 Pohled na upravenou výrobní linku 2..... | 96 |
| Obr. 8.4 Upravený stůl č. 1..... | 97 |
| Obr. 8.5 Upravený stůl č. 2..... | 98 |
| Obr. 8.6 Upravený stůl č. 3..... | 99 |
| Obr. 9.1 Porovnání spotřeby času a efektivity..... | 102 |
| Obr. 9.2 Pohyb operátora a výrobku během montáže po implementaci NTS | 103 |
| Obr. 9.3 Výsledné navýšení efektivity | 104 |
| Obr. 9.4 Přepočítání kroků na časovou hodnotu..... | 105 |
| Obr. 9.5 Grafické znázornění doby návratnosti..... | 107 |
| Obr. 9.6 Grafické znázornění doby návratnosti 2..... | 108 |

Seznam tabulek

| | |
|---|-----|
| Tab. 5.1 Limity emisních norem [32] | 35 |
| Tab. 6.1 Roční produkce jednotlivých variant výrobku | 43 |
| Tab. 6.2 Váha jednotlivých variant výrobku | 43 |
| Tab. 6.3 Vnější rozměry výrobků | 44 |
| Tab. 6.4 Stanice č. 1 – popis montážních kroků | 47 |
| Tab. 6.5 Stanice č. 2 – popis montážních kroků | 48 |
| Tab. 6.6 Stanice č. 3 – popis montážních kroků | 49 |
| Tab. 6.7 Stanice č. 4 – popis montážních kroků | 49 |
| Tab. 6.8 Výrobní normy pro operátory | 50 |
| Tab. 6.9 Výstupní data MOST studie | 56 |
| Tab. 6.10 Činnosti prováděné během změny výroby | 57 |
| Tab. 6.11 Porovnání reálných a teoretických spotřeb časů..... | 59 |
| Tab. 6.12 Navrhovaná řešení a jejich porovnání | 61 |
| Tab. 7.1 Základní vlastnosti variant upínání..... | 66 |
| Tab. 7.2 Etapy realizace testovací stanice | 93 |
| Tab. 9.1 Výsledné porovnání časových spotřeb | 101 |
| Tab. 9.2 Časy jednotlivých stanic po implementaci návrhu (Varianta 2+0, 10% přírůstek) .. | 103 |

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha č. 1 Data karty Basic MOST
- Příloha č. 2 Stávající montážní kroky jednotlivých variant
- Příloha č. 3 Stávající balanční grafy jednotlivých variant
- Příloha č. 4 Stávající MOST studie jednotlivých variant
- Příloha č. 5 Nové MOST studie jednotlivých variant
- Příloha č. 6 Ganttův diagram a MOST studie pro výrobu jednoho kusu
- Příloha č. 7 Výkresová dokumentace automatizované montážní stanice
- Příloha č. 8 Seznam dodavatelů a náklady na pořízení
- Příloha č. 9 Model automatizované montážní stanice (.stp)
- Příloha č. 10 Model ergonomicky upravené výrobní linky (.stp)
- Příloha č. 11 Analýza rizik